

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหาพิกัด 3 มิติ ของวัตถุโดยเทคนิคสเตอริโอสโคปี

3 – D COORDINATE EXTRACTION USING STEREOSCOPY



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาพิกัด 3 มิติ ของวัตถุโดยเทคนิคสเตอริโอโคปี
3 - D COORDINATE EXTRACTION USING STEREOSCOPY



ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาพิกัด 3 มิติ ของวัตถุโดยเทคนิคสเตอริโอสโคปี

3 - D COORDINATE EXTRACTION USING STEREOSCOPY

ผู้จัดทำ

1. นายสิทธิพร ชานูนาสิน

2. นายองอาจ ปัญญาชาติรักษ์

รายงานฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบ โดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ..........อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. ชูชาติ ปินทาวีรุจน์)

วันที่ 15 มิถุนายน 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ขอขอบคุณ พี่ชู้ พี่ชิง พี่เอก และเพื่อนๆ ที่คอยแนะนำและให้กำลังใจตลอดมา คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ. ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำโครงการชิ้นนี้



นาย สติธิพร ชานานาสิน

(นาย สติธิพร ชานานาสิน)

นาย งาม ออจ ปัญญาชาติรักษ์

(นาย งาม ออจ ปัญญาชาติรักษ์)

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาพิกัค 3 มิติ ของวัตถุโดยเทคนิคสเตอริโอสโคปี

นายสิทธิพร ชาญนำสิน

นายองอาจ ปัญญาชาติรักษ์

ผศ.ดร. ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

รายงานนี้ศึกษาและสร้างอุปกรณ์ในการสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้วิธีสเตอริโอสโคปี ด้วยวิธีการถ่ายภาพของวัตถุจากกล้องที่วาง ณ 2 ตำแหน่งซึ่งจะได้ภาพออกมาเป็นภาพถ่าย 2 มุมมอง และนำภาพมาทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาทำการวิเคราะห์และคำนวณหาความลึกของวัตถุด้วยวิธีการสเตอริโอสโคปีเพื่อให้ได้ภาพ 3 มิติ การหาจุดสอดคล้องในภาพที่ถ่าย 2 มุมมองใช้เทคนิคการเข้ารหัสสีโดยการเขียนจุดสีต่างๆบนวัตถุ โปรแกรมการประมวลผลภาพจะทำการค้นหาตำแหน่งจุดสีในภาพที่ถ่ายได้แล้วนำไปคำนวณพิกัค 3 มิติอย่างอัตโนมัติ เทคนิคสเตอริโอสโคปีสามารถนำไปสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งมีขนาดเท่ากับวัตถุจริง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายด้าน เช่น สร้างแบบจำลองของวัตถุ, การหาขนาดวัตถุ และอื่นๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 – D COORDINATE EXTRACTION USING STEREOSCOPY

Mr. Sittiporn Channumsin

Mr. Ong-ard Panyachatira

Asst.Prof.Dr. Chuchat Pintavirooj (Advisor)

1st Semester, Education year 2005

Abstract

This report concerns about the design and construction of the 3D coordinate extraction system which is based on the stereoscopy technique. The system consists of two identical camera mounting on the platform that capable of sliding on the dual rail. The taken images from two camera are sending to the PC via a video capture card. The corresponding points on the two images are searched based on using the color coding scheme in which the color dot are marked on the object and the image of the color dot are searched using template matching. The automatically determined corresponding points are then used to compute the 3D coordinate of the object. 3D coordinate extraction using the stereoscopy technique can be applied in a varieties of field including 3D modeling and shape extraction

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
Abstract	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประวัติกความเป็นมา	1
บทที่ 2 ทฤษฎีกราฟฟิค 2 มิติ และกราฟฟิค 3 มิติ	4
2.1 กราฟฟิค 2 มิติ	4
2.1.1 จุด	4
2.1.2 เส้นตรง	4
2.1.3 รูปหลายเหลี่ยม	5
2.1.4 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง	5
2.2 กราฟฟิค 3 มิติ	6
2.2.1 จุดและระนาบ	6
บทที่ 3 การเกิดภาพสเตอริโอ (stereo Imaging)	8
3.1 ความลึก (depth)	10
3.2 ภาพสเตอริโอ (Stereo imaging)	10
3.3 กล้องในตำแหน่งที่ไม่แน่นอน (Cameras in arbitrary position and orientation)	12
3.4 การวัด (calibration)	13
3.5 ระบบคู่ขนาน (Coordinate systems)	13
3.6 จากพิกเซลไปเป็นรูป (Pixel to image)	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.7 การคำนวณจุด 3 มิติโดยใช้กล้องหลายตัว (Computing 3D points using multiple cameras)	14
3.8 Stereo Triangulation	14
3.9 การตั้งกล้อง (Camera calibration)	14
3.10 การตั้งกล้องโดยใช้ Least-Squares Technique	15
3.11 การตั้งกล้องแบบ Tsai (Tsai camera calibration)	15
3.11.1 ตัวแปรภายในกล้อง (Intrinsic camera parameters)	15
3.11.2 ตัวแปรภายนอกกล้อง (Extrinsic camera parameters)	16
3.11.3 การตั้งกล้องแบบ Tsai (Tsai camera calibration)	16
3.12 การปรับเทียบกล้อง (Camera Calibration)	17
3.13 การหาพิกัด 3 มิติของจุดในฉากโดยใช้กล้อง 2 ตัว	19
บทที่ 4 วงจรสวิตช์กล้องและการตั้งค่าของอุปกรณ์	23
4.1 วงจร analog switch	23
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้	23
4.3 ส่วนประกอบของวงจรสวิตช์กล้อง	23
4.3.1 จ่ายแรงดันไฟตรง 5 v	24
4.3.2. วงจรสวิตช์กล้อง	24
4.3.2.1 การทำงานวงจรสวิตช์	24
4.3.2.2 การออกแบบวงจรสวิตช์	24
4.3.2.3 การทำงานของ SN74HC4066	25
4.4 วิธีการหาความยาวโฟกัสของกล้อง CCD CAMERA	30
4.5 การหาค่าพิกเซลต่อเซนติเมตร	41
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	45
5.1 การทดลองที่ 1 สร้างภาพ 3 D	45
5.2 การทดลองที่ 2 หาจุดและตัวแทนของสี่ที่ตรวจจับ	52
5.3 การทดลองที่ 3 ทำการสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้วัตถุลักษณะต่างกัน	53
5.4 การทดลองที่ 4 ทำการสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้ตรวจจับสี่ที่ฉาย	53

จากโปรเจคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.5 ผลการทดลอง	62
5.5.1 ผลการทดลอง การสร้างภาพ 3 มิติ	62
5.5.2 ผลการทดลอง การหาจุดและตัวแทนของสี่ที่ตรวจจับ	71
5.5.3 การทดลอง ทำการสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้วัตถุลักษณะต่างกัน	74
5.5.4 ทำการสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้ตรวจจับสี่ที่ฉายจากโปรเจคเตอร์	77
บทที่ 6 สรุปผลและวิจารณ์	83
บรรณานุกรม	84
ภาคผนวก	85



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. รูปที่ 1.1 Sir Charles Wheatstone (ค.ศ.1802- ค.ศ.1875) และ stereoscopic vision	2
2. รูปที่ 1.2 Henry fox Talbot และ Daguerre	2
3. รูปที่ 1.3 David Brewster และ Oliver Wendall Homes	2
4. รูปที่ 1.4 อุปกรณ์ดูภาพของ Brewster สร้างในปี ค.ศ.1860 อุปกรณ์ดูภาพของ Homes สร้างในปี ค.ศ.1905	3
5. รูปที่ 1.5 ภาพที่ใช้กับอุปกรณ์ดูภาพของ Brewster	3
6. รูปที่ 2.1 จุดในระบบกราฟิก 2 มิติ	4
7. รูปที่ 2.2 เส้นตรงในระบบกราฟิก 2 มิติ	5
8. รูปที่ 2.3 รูปแสดงตำแหน่งของจุดในระบบ 3 มิติ	6
9. รูปที่ 3.1 แบบจำลองของขบวนการสร้างภาพสเตอริโอ	9
10.รูปที่ 3.2 มุมมองของขบวนการสร้างภาพสเตอริโอ โดยที่ระบบพิกัดของ กล้องตัวที่ 1 ซ้อนทับกับระบบพิกัดของโลก	9
11.รูปที่ 3.3 การเกิดภาพสเตอริโอจากกล้อง 2 ตัว	10
12.รูปที่ 3.4 Stereo imaging	11
13.รูปที่ 3.5 Cameras in Arbitrary Position and Orientation	12
14.รูปที่ 3.6 Cameras in Arbitrary Position and Orientation	12
15.รูปที่ 3.7 ภาพของตารางหมากรุกที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบกล้อง	19
16.รูปที่ 3.8 การหาพิกัด 3 มิติโดยใช้กล้อง 3 มิติ	22
17.รูปที่ 4.1 วงจรจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 v	24
18.รูปที่ 4.2 วงจรที่ switch	25
19.รูปที่ 4.3 IC SN74HC4066	26
20.รูปที่ 4.4 Schematic analog switch	27
21.รูปที่ 4.5 ลายวงจร analog switch	28
22.รูปที่ 4.6 อุปกรณ์ที่วางบนหลายแผ่นปริ้น	28
23.รูปที่ 4.7 วงจร analog switch ประกอบลง case (ด้านหน้า)	29
24.รูปที่ 4.8 วงจร analog switch ประกอบลง case (ด้านหลัง)	29
25.รูปที่ 4.9 โปรแกรมที่ใช้ในการคาริเบลกล้อง	30
26.รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการถ่ายภาพเพื่อคาริเบลกล้อง รูปที่ 1	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
27.รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการถ่ายภาพเพื่อคาริเบลกล้อง รูปที่ 2	32
26.รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการถ่ายภาพเพื่อคาริเบลกล้อง รูปที่ 3	33
27.รูปที่ 4.13 การวางตัวของตาราง 12 ภาพ ของกล้อง	34
28.รูปที่ 4.14 ทหาระยะพิเซลต่อจุด ที่ $z = 80$ cm.	41
29.รูปที่ 4.15 ทหาระยะพิเซลต่อจุด ที่ $z = 100$ cm.	42
30.รูปที่ 4.15 ทหาระยะพิเซลต่อจุด ที่ $z = 120$ cm.	43
31.รูปที่ 4.16 ทหาระยะพิเซลต่อจุด ที่ $z = 140$ cm.	44
32.รูปที่ 5.1 การวางกล้อง	45
33.รูปที่ 5.2 อุปกรณ์ในการทดลองที่ 1 ถึง 3	46
34.รูปที่ 5.3 ที่ตั้งวัตถุ	47
35.รูปที่ 5.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ก่อนทำการทดลองที่ 4	48
36.รูปที่ 5.5 หน้าหลักของโปรแกรม	49
37.รูปที่ 5.6 โปรแกรมส่วนของการภาพ 3 มิติแบบโครงร่าง	50
38.รูปที่ 5.7 โปรแกรมส่วนของการ image processing	51
39.รูปที่ 5.8 ทำการหาตัวแทนจุด	52
40.รูปที่ 5.9 ส่วน โปรแกรม 3 มิติในการทดลองที่ 4	53
41.รูปที่ 5.10 ขั้นตอนการ scan วัตถุในการทดลองที่ 4	54
42.รูปที่ 5.11 ขั้นตอนการ scan วัตถุในการทดลองที่ 4 พร้อมกัน 4 จุด	55
43.รูปที่ 5.12 โปรแกรมส่วนของการตรวจจับสีและคำนวณหาค่า x,y,z ของภาพ 3 มิติ	56
44.รูปที่ 5.13 วัตถุหน้าคนด้านหน้าในการทดลองที่ 4	57
45.รูปที่ 5.14 วัตถุหน้าคนด้านหลังในการทดลองที่ 4	58
46.รูปที่ 5.15 กล้องสี่เหลี่ยมในการทดลองที่ 4	59
47.รูปที่ 5.16 ลูกบอลในการทดลองที่ 4	60
48.รูปที่ 5.17 วัตถุที่เป็นรูปโคน์ทในการทดลองที่ 4	61
49.รูปที่ 5.18 รูป 3 มิติ ของกล้องสี่เหลี่ยมของระยะ $z = 80$ เซนติเมตร (กล้อง ccv)	62
50.รูปที่ 5.19 รูป 3 มิติ ของกล้องสี่เหลี่ยมของระยะ $z = 100$ เซนติเมตร (กล้อง ccv)	63
51.รูปที่ 5.20 รูป 3 มิติ ของกล้องสี่เหลี่ยมของระยะ $z = 120$ เซนติเมตร (กล้อง ccv)	64
52.รูปที่ 5.21 รูป 3 มิติ ของกล้องสี่เหลี่ยมของระยะ $z = 140$ เซนติเมตร (กล้อง ccv)	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
53.รูปที่ 5.22 รูป 3 มิติ ของกล่องสี่เหลี่ยมของระยะ $z = 80$ เซนติเมตร (กล้อง sony)	66
54.รูปที่ 5.23 รูป 3 มิติ ของกล่องสี่เหลี่ยมของระยะ $z = 100$ เซนติเมตร (กล้อง sony)	67
55.รูปที่ 5.24 รูป 3 มิติ ของกล่องสี่เหลี่ยมของระยะ $z = 120$ เซนติเมตร (กล้อง sony)	68
56.รูปที่ 5.25 รูป 3 มิติ ของกล่องสี่เหลี่ยมของระยะ $z = 120$ เซนติเมตร (กล้อง sony)	69
56.รูปที่ 5.26 กราฟแสดงค่าความลึกของภาพ	70
57.รูปที่ 5.27 ตรวจจับสี่ที่รูปซ้ายที่ระยะ 80 เซนติเมตร	71
58.รูปที่ 5.28 ตรวจจับสี่ที่รูปขวาที่ระยะ 80 เซนติเมตร	72
59.รูปที่ 5.29 ทำ 3D ที่ระยะ 80 เซนติเมตร	73
60.รูปที่ 5.30 กล่องสี่เหลี่ยม $z = 80$ cm. (กล้อง ccv)	74
61.รูปที่ 5.31 กล่องหกเหลี่ยม $z = 100$ cm. (กล้อง ccv)	75
62.รูปที่ 5.32 สามเหลี่ยม $z = 100$ cm. (กล้อง ccv)	76
63.รูปที่ 5.33 ภาพ 3 มิติของวัตถุเป็นหน้าคนด้านหน้า	77
64.รูปที่ 5.34 ภาพ 3 มิติของวัตถุเป็นหน้าคนด้านหลัง	78
65.รูปที่ 5.35 ภาพ 3 มิติของวัตถุกล่องสี่เหลี่ยม	79
66.รูปที่ 5.36 ภาพ 3 มิติของวัตถุลูกบอล	80
67.รูปที่ 5.37 ภาพ 3 มิติของวัตถุโคนัท	81
68.รูปที่ 5.38 ภาพ 3 มิติ หน้าคนของการตรวจจับคำสี่พร้อมกัน 4 จุด	82

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ปัจจุบันภาพคอมพิวเตอร์กราฟิก 3 มิติ ถูกนำมาใช้งานในด้านต่างๆมากมาย ไม่ว่าจะเป็นทางด้านภาพยนตร์โฆษณา งานจำลองต้นแบบทางอุตสาหกรรม การจำลองภาพทางการแพทย์ ฯลฯ สืบเนื่องมาจากความสามารถที่สูงขึ้นของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ทำให้ภาพที่ได้มีความสวยงามคมชัด ดูเหมือนของจริง จึงทำให้การสร้างภาพคอมพิวเตอร์กราฟิก 3 มิติเป็นที่นิยมมากขึ้นแต่เนื่องมาจากโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างภาพคอมพิวเตอร์กราฟิก 3 มิติ ที่นิยมใช้งานในปัจจุบันเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป และการใช้งานค่อนข้างยาก โครงการนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อศึกษาถึงขั้นตอนการได้มาของภาพคอมพิวเตอร์กราฟิก 3 มิติ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงวิธีการสร้างภาพ 3 มิติมากขึ้นและสามารถนำมาสร้างภาพ 3 มิติได้

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาถึงขั้นตอนและวิธีการสร้างโดยวิธีสเตอริโอสโคปที่ใช้ในการสร้างภาพคอมพิวเตอร์กราฟิก 3 มิติ
- เพื่อช่วยให้เข้าใจถึงการ ใช้งานโปรแกรมสร้างภาพคอมพิวเตอร์กราฟิก 3 มิติ
- สามารถนำมาสร้างแบบจำลองของวัตถุได้ด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงการ

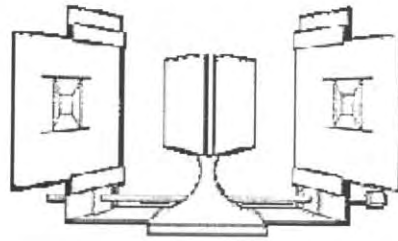
- ศึกษาวิธีและขั้นตอนต่างๆที่ใช้ในการสร้างภาพคอมพิวเตอร์กราฟิก 3 มิติด้วยวิธีสเตอริโอสโคปี่แสดงให้เห็นจริงโดยการเขียนโปรแกรมสร้างภาพ 3 มิติ
- สร้างอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการจับภาพเพื่อนำมาสร้างภาพ 3 มิติ
- สร้างแบบจำลองของวัตถุด้วยวิธีสเตอริโอสโคปี่ให้ได้ภาพ 3 มิติได้

1.4 ประวัติความเป็นมา

ในยุคสมัยที่ยังไม่มีการใช้กล้องถ่ายรูปนั้น ได้มีบุคคลที่พยายามจะจำลองภาพ 3 มิติขึ้น โดยคิดเทคนิคการมองภาพให้เป็น 3 มิติ เรียกว่า หลักการมองภาพแบบสเตอริโอ (stereoscopic vision) บุคคลแรกที่คิดค้นวิธีการมองภาพแบบนี้ได้ คือ Sir Charles Wheatstone ในปี ค.ศ. 1838

ในปี ค.ศ. 1839 Henry Talibot และ Daguerre คิดค้นกรรมวิธีล้างอัดภาพขึ้น จากนั้นผู้คนที่เริ่มถ่ายภาพแพร่หลาย การมองภาพที่ล้างอัดออกมาให้เห็นเป็น 3 มิติ จึงทำได้ยาก

ต่อมาในปี ค.ศ.1850 เมื่อ David Brewster ประดิษฐ์ albumen print และ อุปกรณ์ดูภาพ 3 มิติที่มีราคาถูกลง และ Oliver Wendall Homes ที่ประดิษฐ์อุปกรณ์ดูภาพที่ราคาถูกลงยิ่งกว่า จึงทำให้การดูภาพ 3 มิติทำได้ง่ายและแพร่หลายมากขึ้น



รูปที่ 1.1 Sir Charles Wheatstone (ค.ศ.1802- ค.ศ.1875) และ stereoscopic vision



Henry Fox Talbot



Daguerre

รูปที่ 1.2 Henry fox Talbot และ Daguerre



David Brewster



Oliver Wendall Homes

รูปที่ 1.3 David Brewster และ Oliver Wendall Homes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 อุปกรณ์ถ่ายภาพของ Brewster สร้างในปี ค.ศ.1860 อุปกรณ์ถ่ายภาพของ Homes สร้างในปี
ค.ศ.1905



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

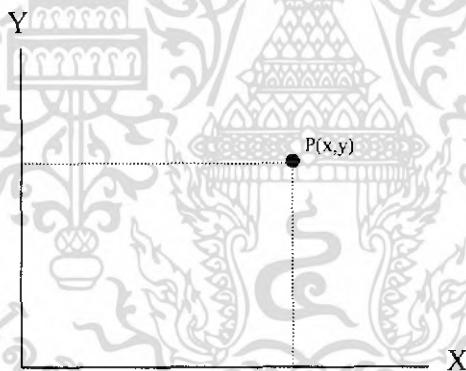
ทฤษฎี กราฟฟิค 2 มิติ และกราฟฟิค 3 มิติ

2.1 กราฟฟิค 2 มิติ

ระบบที่เป็นพื้นฐานของระบบคอมพิวเตอร์กราฟฟิค คือ ระบบกราฟฟิค 2 มิติ เพราะภาพที่ได้จากระบบกราฟฟิค 2 มิติสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น รูปกราฟต่างๆในระบบกราฟฟิค 2 มิติ ตำแหน่งของข้อมูลต่างๆจะถูกแทนที่ได้โดยตัวแปร 2 ตัว คือ (x,y) เมื่อ x คือระยะทางในแนวนอนจากจุดกำเนิด (origin) ใดๆ และ y คือระยะทางในแนวตั้งจากจุดกำเนิดเดียวกัน สิ่งที่สำคัญในระบบกราฟฟิค 2 มิติ คือ จุด (point) เส้นตรง (line) และรูปหลายเหลี่ยม (polygon) เนื่องจากสามารรถที่จะนำสิ่งเหล่านี้ไปประกอบเพื่อให้เกิดเป็นภาพขึ้นมาตามความต้องการ

2.1.1 จุด

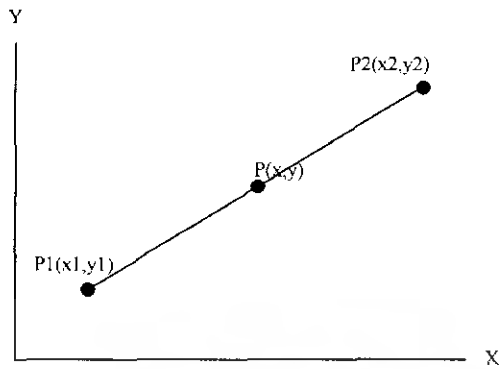
จุดในระบบกราฟฟิค 2 มิติจะถูกแสดงโดยพิกัด (coordinate) โดยค่า 2 ค่าด้วยกัน คือ $P(x,y)$ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 จุดในระบบกราฟฟิค 2 มิติ

2.1.2 เส้นตรง

เส้นตรงในระบบกราฟฟิค 2 มิติจะเกิดจากระยะทางระหว่างจุด 2 จุด ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เส้นตรงในระบบกราฟิก 2 มิติ

สมการของเส้นตรงสามารถอธิบายได้ดังนี้ ถ้าจุด $P(x,y)$ เป็นจุดใดจุดบนเส้นตรงที่เกิดจากจุด $P_1(x_1,y_1)$ และ $P_2(x_2,y_2)$ ใดๆแล้ว สมการของเส้นตรงคือ

$$y=mx+b \quad (1)$$

โดยที่

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$b = y_1 - mx_1$$

สมการที่ 1 เรียกว่าสมการเส้นตรงแบบ Slope-intercept

M=ความชัน (Slope)

B=จุดตัดแกน y ของสมการเส้นตรง ณ ตำแหน่งที่ x มีค่าเป็นศูนย์ (0,b)

2.1.3 รูปหลายเหลี่ยม

รูปหลายเหลี่ยม คือ รูปที่เกิดจากการรวมของจุดและเส้นตรงที่เชื่อมติดกันที่บริเวณปลายทั้งสองข้าง รูปหลายเหลี่ยมที่เกิดขึ้นนั้นจะมีลักษณะเป็นภาพปิด (close figure) เรียกด้านที่ประกบกันของรูปหลายเหลี่ยมว่าด้าน (side) หรือขอบ (edges) ของรูป ส่วนจุดปลายสุดของแต่ละด้านของรูปหลายเหลี่ยมจะเรียกว่าจุดรวม (vertices)

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง

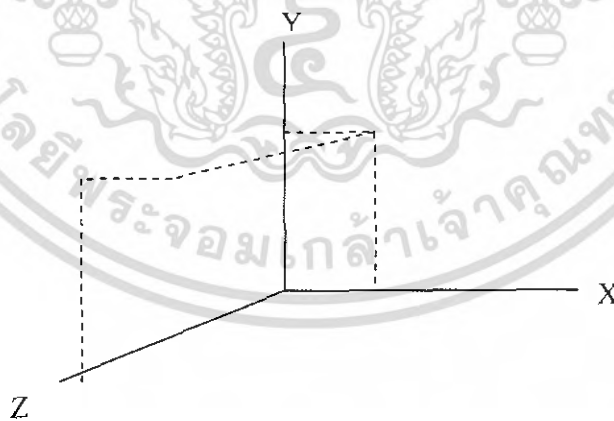
ในระบบคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้นในบางครั้งมีความจำเป็นที่จะต้องทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะของภาพเพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น หรือ เพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน โดยไม่ต้องสร้างภาพขึ้นมาใหม่ เช่น การขยายภาพ การลดขนาดภาพ หรือการเปลี่ยนทิศทางของภาพเดิม แต่จะนำสมการทางคณิตศาสตร์บางอย่างมาช่วยในการเปลี่ยนแปลงลักษณะของภาพจำลอง

2.2 กราฟฟิก 3 มิติ

ภาพกราฟฟิกบางชนิดจำเป็นต้องใช้ระบบ 2 มิติเพื่อการแสดงผลเช่น ภาพของกราฟต่างๆ แผนที่ หรือแม้กระทั่งภาพที่ถูกสร้างจากจิตรกรต่างๆก็เป็นภาพกราฟิกในระบบ 2 มิติ แต่ในงานบางอย่างก็จำเป็นต้องใช้ภาพในระบบ 3 มิติในการแสดงผลเพื่อให้เกิดความง่ายในการที่จะทำให้เข้าใจในภาพนั้น เช่น ภาพของโครงสร้างต่างๆซึ่งถ้าเป็นภาพจำลองที่สร้างขึ้นมาในระบบ 3 มิติ จะสามารถทำให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นภาพรวมในจุดมอง (viewpoint) ที่ต่าง ๆ กัน

2.2.1 จุดและระนาบ

สิ่งที่ย่างที่สุดในการที่จะนำมาใช้ในการอธิบายระบบ 3 มิติคือ จุด เนื่องจากในระบบ 2 มิติได้อธิบายจุดโดยที่บอกตำแหน่งของจุดโดยอาศัย ค่า 2 ค่า แต่ในระบบ 3 มิตินี้จะต้องเพิ่มแกนอีก 1 แกนเพื่อที่จะสามารถนำมาใช้บอกตำแหน่งของจุดในระบบ 3 มิติ ซึ่งจะทำให้ตัวเลขที่ใช้ในการบอกตำแหน่งของจุดมี 3 ค่าด้วยกัน คือ ค่าแรกจะแทนค่าความสูง(height) ของจุด ส่วนค่าที่ 2 และ 3 จะแทนค่าความกว้าง (width) และความลึก (depth) ตามลำดับ โดยที่ทั้ง 3 แกนที่ใช้ในการอธิบายตำแหน่งในระบบ 3 มิติ จะมีทิศทางที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ในระบบ 2 มิติ นั้นใช้ค่าในแนวแกน X และแกน Y แทนค่าตำแหน่งในด้านความกว้างและความยาว ส่วนในระบบ 3 มิติ นั้นจะใช้แนวแกน Z แทนค่าของตำแหน่งในด้านความลึก ส่วนในแนวแกน X และแกน Y นั้นเหมือนกับในระบบ 2 มิติทุกประการ ดังนั้นการกำหนดตำแหน่งของจุดในระบบ 3 มิติจะสามารถกำหนดได้โดยตัวแปร 3 ตัว คือ $P(x,y,z)$ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปแสดงตำแหน่งของจุดในระบบ 3 มิติ

และสมการเส้นตรงในระบบ 3 มิติ คือ

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{z - z_1}{x - x_1} = \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1} \quad (2)$$

ส่วนสมการของระนาบในระบบ 3 มิติคือ

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (3)$$

เมื่อ A, B, C และ D คือค่าคงที่หรือ

$$x + B_1 y + C_1 z + D_1 = 0 \quad (4)$$

โดยที่ $B_1 = \frac{B}{A}$, $C_1 = \frac{C}{A}$, และ $D_1 = \frac{D}{A}$

และระยะทางระหว่างจุด(x, y, z) ใดๆกับระนาบถูกกำหนดโดย

$$L = \frac{|A_2 x + B_2 y + C_2 z + D_2|}{d} \quad (5)$$

โดยที่ $A_2 = \frac{A}{d}$, $B_2 = \frac{B}{d}$, $C_2 = \frac{C}{d}$ และ $D_2 = \frac{D}{d}$

บทที่ 3

การเกิดภาพสเตอริโอ (stereo Imaging) และการการิบถกถ้อง

การเกิดภาพสเตอริโอเป็นการสร้างภาพของวัตถุเดียวกันด้วยกล้อง 2 ตัววางอยู่ข้างกัน ภาพที่ได้จากกล้องทั้งสองสามารถนำมาใช้ในการหาพิกัด 3 มิติของวัตถุได้ พิจารณาแบบจำลองการเกิดภาพสเตอริโอในรูปที่ 3.1 ระยะระหว่างจุดกึ่งกลางของเลนส์ของกล้องทั้งสองเราเรียกว่า Baseline B เราต้องการหาพิกัด (X, Y, Z) ของจุด w ซึ่งมีจุดภาพ (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) เราสมมติว่ากล้องทั้งสองนั้นมีลักษณะที่เหมือนกัน และระบบพิกัดของกล้องทั้งสองนั้นวางอยู่ในแนวที่ตรงกัน (Perfectly Aligned) ถ้าระบบพิกัดของกล้องและของโลกซ้อนทับกันพอดี ระนาบ xy ของภาพวางอยู่ในแนวเดียวกับระนาบ XY ของโลก ดังนั้นค่าพิกัด z ของ w สำหรับระบบพิกัดกล้องทั้งสองมีค่าเดียวกัน

ถ้าระบบพิกัดของกล้องที่หนึ่งและของโลกซ้อนทับกันพอดี ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เราได้ว่า

$$X_1 = \frac{x_1}{f} (f - Z_1) \quad (3.1)$$

โดยที่ตัวห้อยบน X และ Z เป็นการบอกว่าพิกัดกล้องที่หนึ่งซ้อนทับกับพิกัดของโลก ทำนองเดียวกัน ถ้าระบบพิกัดของกล้องที่สองและของโลกซ้อนทับกันพอดี เราได้ว่า

$$X_2 = \frac{x_2}{f} (f - Z_2) \quad (3.2)$$

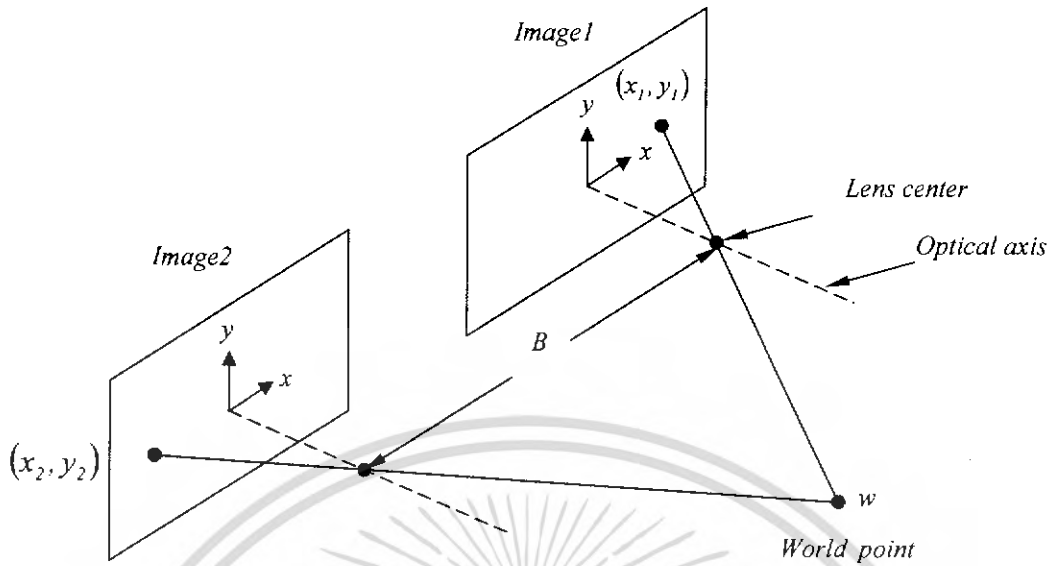
เนื่องจากการแยกกันของกล้องทั้งสองและเนื่องจาก w เป็นค่าเดียวสำหรับระบบพิกัดของทั้งสองกล้อง เราได้ว่า

$$X_2 = X_1 + B \quad (3.3)$$

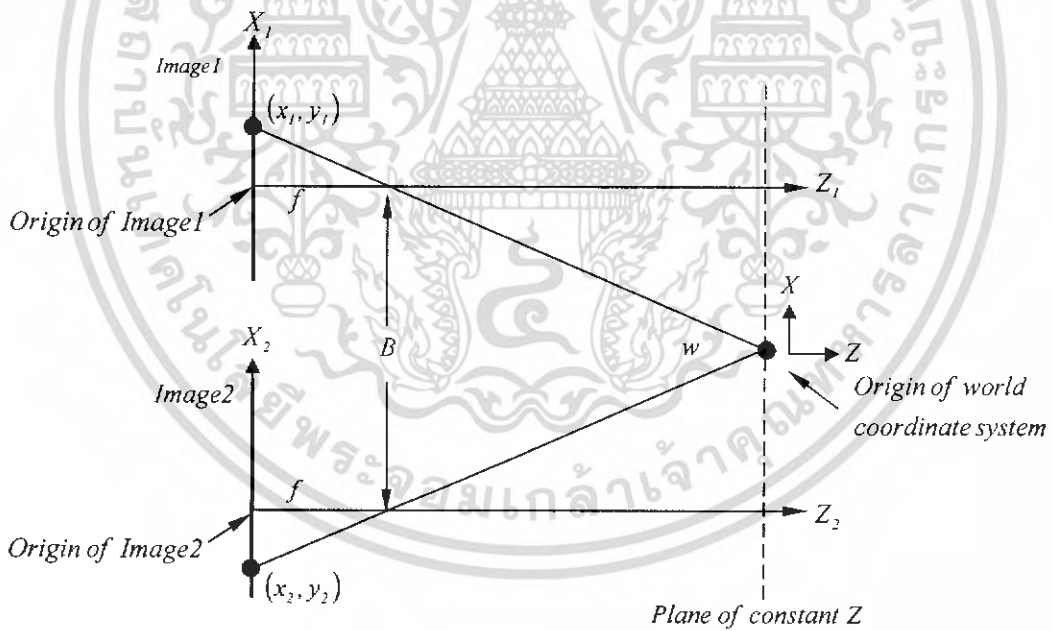
และ

$$Z_2 = Z_1 = Z \quad (3.4)$$

โดยที่ B เป็นระยะ Baseline



รูปที่ 3.1 แบบจำลองของขบวนการสร้างภาพสเตอริโอ



รูปที่ 3.2 มุมมองของขบวนการสร้างภาพสเตอริโอ โดยที่ระบบพิกัดของกล้องตัวที่ 1

ซ้อนทับกับระบบพิกัดของโลก

แทนค่า (3.3) และ (3.4) ลงใน (3.1) และ (3.2) เราได้ว่า

$$X_1 = \frac{x_1}{f}(f - Z) \tag{3.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ
$$X_1 + B = \frac{x_2}{f}(f - Z) \quad (3.6)$$

ลบ (13.4-14) จาก (13.4-13) และแก้สมการหา Z เราได้ว่า

$$Z = f - \frac{fB}{x_2 - x_1} \quad (3.7)$$

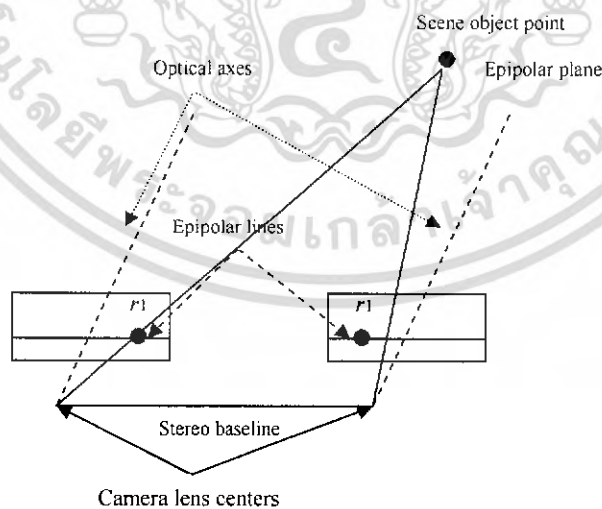
นั่นหมายความว่าถ้าเราทราบผลต่างของพิกัดภาพ x_2 และ x_1 ระยะ Baseline และความยาวโฟกัสของกล้องเราสามารถคำนวณหาพิกัด Z ของ w ได้ สำหรับพิกัด X และ Y สามารถคำนวณโดยใช้พิกัด (x_1, y_1) หรือ (x_2, y_2)

3.1 ความลึก (depth)

ขอบเขตของรูปคือพิกเซล (Pixel) ซึ่งมีฟังก์ชัน (Function) ของระยะทางของจุดที่มีลักษณะเดียวกันในแต่ละรูปโดยรูปที่ได้มาอาจใช้ วิธีคู่ช่วงของรูป (Range image systems) หรือ คำนวณจากคู่ของภาพสเตอริโอ (Stereo pair of image)

3.2 ภาพสเตอริโอ (Stereo imaging)

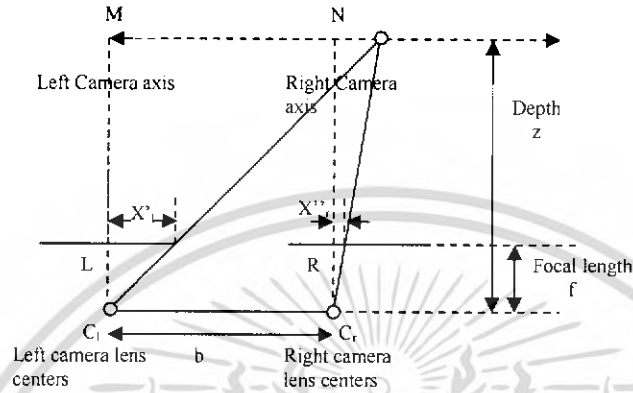
วิธีการที่ง่ายที่สุดคือวางกล้อง 2 ตัวแยกกันในแนวแกน x มีระยะห่างเบสไลน์ (Baseline) เท่ากับ b รูปทั้งสองต้องอยู่ในระนาบเดียวกันโดย ระนาบที่ผ่านจุดกึ่งกลางกล้องและจุดที่มีลักษณะเหมือนกันในรูป เรียกว่า ระนาบอีพิโพลาร์ (Epipolar plane) และการซ้อนทับกันของระนาบอีพิโพลาร์ระนาบของรูป เรียกว่า เส้นอีพิโพลาร์ (Epipolar line)



รูปที่ 3.3 การเกิดภาพสเตอริโอจากกล้อง 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดใดๆในรูปที่สามารถมองเห็นได้จากกล้องทั้งสองตัวจะถูกแสดงเป็นคู่ของรูป (A pair of image) เรียกว่า คู่คอนจูเกต (Conjugate pair) สำหรับแบบจำลองอย่างง่าย ทุกจุดในรูปที่หนึ่งจะอยู่ในแนวเดียวกันรูปที่สอง ซึ่งระยะห่างระหว่างจุดของคู่คอนจูเกต เรียกว่า คิสพาริตี (Disparity)



รูปที่ 3.4 Stereo imaging

ให้จุดกำเนิดของคู่อันดับของระบบซ้อนทับกันที่จุดกึ่งกลางเลนส์ด้านซ้าย
การเปรียบเทียบสามเหลี่ยมคล้าย (Comparing similar triangles)

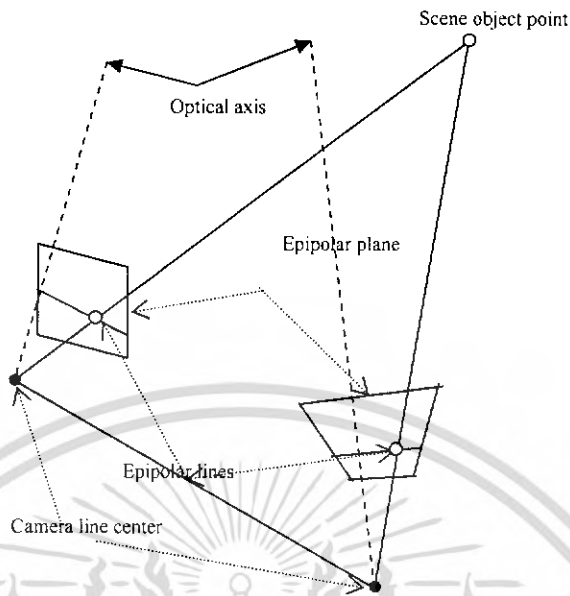
$$x/z = x' / f \quad (3.8)$$

$$(x-b) / z = x' / f \quad (3.9)$$

เปรียบเทียบ สมการข้างต้น

$$z = bf / (x' - x) \quad (3.10)$$

ความลึกที่จุดบนภาพที่ต่างกันอาจหาได้เมื่อรู้ความไม่เหมือนกันของลักษณะของจุดของภาพ (Disparities of corresponding image points) นอกจากนี้ค่าความกว้างของเบสไลน์จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณความลึก และการเพิ่มจุดบนภาพที่ได้จากกล้องทั้งสองตัวเพียงเล็กน้อยจะเพิ่มความแม่นยำในการนำเสนอภาพเปอสเปกทีฟ (Perspective projection)

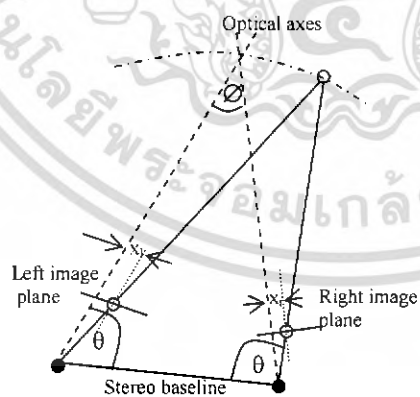


รูปที่ 3.5 Cameras in Arbitrary Position and Orientation

3.3 กล้องในตำแหน่งที่ไม่แน่นอน (Cameras in arbitrary position and orientation)

คู่คอนจูเกตอยู่ในแนวเดียวกันกับเส้นอีพิโพลาร์ แต่เส้นอีพิโพลาร์ไม่จำเป็นต้องอยู่แนวเดียวกันของรูป

ในแบบจำลองนี้ แกนของกล้องตัดกันที่จุดในอวกาศ (Point in space)



รูปที่ 3.6 Cameras in Arbitrary Position and Orientation

สำหรับมุมใดๆ มีพื้นผิวในอวกาศตรงกับ ซีโรดิสปาริตี (Zero disparity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไม่เหมือนกัน (Disparities) ถูกจัดกลุ่มไว้สามแบบคือ

+ ($d > 0$)

- ($d < 0$)

0 ($d = 0$)

ทั้งสามรูปแบบถูกใช้ในการแก้ปัญหาค่ากำกวม (Ambiguous matches) โดยที่ การตรวจสอบคู่คอนจูเกตในภาพสเตอริโอ หาได้โดยใช้ ปัญหาการสอดคล้องกัน (Correspondence problem) สำหรับจุดแต่ละจุดในรูปด้านซ้ายเราสามารถหาจุดที่มีลักษณะเหมือนกันในรูปด้านขวา เราจำเป็นต้องมีรูปแบบการแมชบางประการ เช่น ริม (Edges) หรือขอบเขต (Regions) ซึ่งโดยนัยแล้วความลึกคำนวณได้จากลักษณะของจุด(Point) โดยความลึกที่จุดอื่นๆ ได้จากการประมาณค่าโดยเทคนิคทาง อินเทอร์โพลเลชัน(Interpolation) เส้นอีพิโพลาร์(Epipolar) นั้นเป็นตัวกำหนดพื้นที่ในการหาคู่คอนจูเกต(Conjugate) แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีปัญหาค่ากำกวม และไม่ใช่เพียงจากการใช้เครื่องมือที่แก้ไขได้ยาก

3.4 การวัด (calibration)

3.4.1 การกำหนดทิศทางที่แน่นอน (Absolute Orientation) : ระบุตำแหน่งและทิศทางที่แน่นอนจากคู่อันดับของจุดที่วัด

3.4.2 การกำหนดทิศทางที่สัมพันธ์กัน (Relative Orientation) : ระบุตำแหน่งและทิศทางที่สัมพันธ์กันจากโปรเจกชัน (projection) ของจุดที่วัด

3.4.3 การกำหนดทิศทางภายนอก (Exterior orientation) : ระบุตำแหน่งและทิศทางภายนอกจากโปรเจกชันของจุดที่วัด

3.4.4 การกำหนดทิศทางภายใน (Interior orientation) : กำหนดค่าที่เกี่ยวข้องกับกล้อง (ค่าคงที่ของกล้อง, ตำแหน่งของจุดหลัก (principal point), การบิดเบือนของเลนส์ ฯลฯ)

3.5 ระบบคู่อันดับ (Coordinate systems)

ระบบคู่อันดับของกล้องในการวัดมีหลายแบบดังนี้

3.5.1 คู่อันดับของภาพ (Scene coordinate) : ใช้สำหรับจุดในภาพ

3.5.2. อันดับของกล้อง (Camera coordinate) : ใช้จุดศูนย์กลางกล้องแทนจุดของภาพ

3.5.3 คู่อันดับของรูป (Image coordinate) : จุดของภาพเข้าไปบนระนาบของรูป (Image plane)

3.5.4 คู่อันดับพิกเซล (Pixel coordinate) : สำหรับช่องเล็กๆ (grid) ของรูปตัวอย่าง (Image samples) ในอาร์เรย์ของรูป (Image array)

3.6 จากพิกเซลไปเป็นรูป (Pixel to image)

ระบบคู่อันดับของอาร์เรย์ของรูปมีจุดเริ่มต้นที่พิกเซลบนซ้าย เราสามารถเปลี่ยนคู่อันดับพิกเซลไปเป็นคู่อันดับของระนาบของรูปได้ โดยใช้รูปแบบเรขาคณิตของกล้อง (geometry of the camera) อนุमानว่า แกนหลัก (Principal axis) ซ้อนทับกันระนาบของรูปที่จุดกึ่งกลางของอาร์เรย์ของรูป

ถ้าอาร์เรย์ของรูปมี n แถว (row) และ m หลัก (column) แล้ว จุดกึ่งกลางคือ

$$c'_x = (m-1)/2 \quad c'_y = (n-1)/2 \quad (3.11)$$

การแปลงจากคู่อันดับพิกเซล $[i,j]$ ไปเป็นคู่อันดับของรูป (x',y') ได้ว่า

$$x' = j - (m-1)/2 \quad y' = -[i - (n-1)/2] \quad (3.12)$$

กำหนดให้ช่องว่างระหว่างหลักคือ s_x และช่องว่างระหว่างแถวคือ s_y

$$x' = s_x [j - (m-1)/2] \quad y' = -s_y [i - (n-1)/2] \quad (3.13)$$

3.7 การคำนวณจุด 3 มิติโดยใช้กล้องหลายตัว (Computing 3D points using multiple cameras)

เราคำนวณหาพิกัด 3 มิติ $[x,y,z]$ จากรูป 2 รูป คือ $[r_1, c_1]$ และ $[r_2, c_2]$ จากกล้อง 2 ตัวที่มีลักษณะเหมือนกัน

3.8 Stereo Triangulation

สมการเชิงเส้น 4 สมการของตัวแปรไม่ทราบค่า x,y,z

$$r_1 = (a_{11} - a_{31}r_1)x + (a_{12} - a_{32}r_1)y + (a_{13} - a_{33}r_1)z + a_{14} \quad (3.13)$$

$$c_1 = (a_{21} - a_{31}c_1)x + (a_{22} - a_{32}c_1)y + (a_{23} - a_{33}c_1)z + a_{24} \quad (3.14)$$

$$r_2 = (b_{11} - b_{31}r_2)x + (b_{12} - b_{32}r_2)y + (b_{13} - b_{33}r_2)z + b_{14} \quad (3.15)$$

$$c_2 = (b_{21} - b_{31}c_2)x + (b_{22} - b_{32}c_2)y + (b_{23} - b_{33}c_2)z + b_{24} \quad (3.16)$$

3.9 การตั้งกล้อง (Camera calibration)

สิ่งที่ต้องรู้คือค่าตัวแปร (Parameter) ของเมตริกซ์ (Matrix) ของกล้องหาได้อย่างไร การใช้เทคนิคกำลังสองต่ำสุด ที่เหมาะสม (Least-squares fitting technique) มีขั้นตอน (Procedure) อะไรบ้าง

ภาพ (view) และโฟกัส (focus) ของกล้อง คงที่

วัตถุที่ต้องการวัดถูกวางในฉาก (scene)

กลุ่ม (set) ของข้อมูล n ตัว $\langle {}^l P_j, {}^w P_j \rangle$ ถูกกำหนด จุด n มีอย่างน้อย 6 จุด ถ้าจุดมากกว่านี้ ผลที่ได้จะดีขึ้น เขียนแทนอย่างง่ายได้ดังนี้

$${}^l P_j = [{}^l P_r, {}^l P_c] = [u_j, v_j] \quad (3.17)$$

$${}^w P_j = [{}^w P_x, {}^w P_y, {}^w P_z] = [x_j, y_j, z_j] \quad (3.18)$$

3.10 การตั้งกล้องโดยใช้ Least-Squares Technique

ได้สมการ $2n$ สมการ จากการวัดจุด n จุด

$$A_{2n \times 1} x_{1 \times 1} \sim b_{2n \times 1} \quad (3.19)$$

ระบบที่นอกเหนือจากการระบุ (Over-determined system) เราต้องการกลุ่ม (set) ของค่าตัวแปร ซึ่งผลบวกของผลต่างกำลังสองระหว่างคู่อันดับที่ต้องการ (Observed coordinate) กับคู่อันดับที่หาได้จากเมตริกซ์ของกล้อง (Camera matrix) เป็นค่าต่ำสุด

$$x = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (3.20)$$

3.11 การตั้งกล้องแบบ Tsai (Tsai camera calibration)

เป็นเทคนิคการตั้งกล้องที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง สามารถหาค่าตัวแปรของกล้องได้ดังนี้

ตัวแปรภายใน (Intrinsic parameters)

ตัวแปรภายนอก (Extrinsic parameters)

กำหนดให้แทนค่าต่างๆดังนี้

$P = [x, y, z]$ เป็นจุดในระบบพิกัด 3 มิติของโลก

$p = [u, v]$ เป็นจุดในระนาบของภาพจริง (real image plane)

$a = [r, c]$ เป็นพิกเซลในอาร์เรย์ของรูป

3.11.1 ตัวแปรภายในกล้อง (Intrinsic camera parameters)

ตัวแปรของกล้องมีดังนี้

จุดเริ่มต้น (Principal point) $[u_0, v_0]$: เกิดการทับกัน (Intersection) ของแกนที่สังเกต (optical axis) กับระนาบของรูป

สเกลแฟกเตอร์ (Scale factor) $\{d_x, d_y\}$: สำหรับทิศทาง x และ y

ความเพี้ยนของรูป (Aspect distortion factor) τ_1 : ใช้แบบจำลองทางความเพี้ยนในอัตราส่วนของกล้อง

ความยาวโฟกัส (Focal length) f : ระยะจากกลางรูปที่สังเกด (Optical center) ถึงระนาบของรูป

การบิดเบือนของเลนส์ (Lens distortion factor) K_1 : ใช้แบบจำลองการบิดเบือนของรัศมีเลนส์

3.11.2 ตัวแปรภายนอกกล้อง (Extrinsic camera parameters)

อธิบายเกี่ยวกับตำแหน่งและทิศทางของระบบกล้องในพิกัด 3 มิติ ของโลก รวมไปถึง

การเลื่อน (Translation)

$$t = [t_x, t_y, t_z]^T$$

การหมุน (Rotation)

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & 0 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & 0 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

3.11.3 การตั้งกล้องแบบ Tsai (Tsai camera calibration)

ชุด (set) ข้อมูล : มีจำนวน $n > 5$ ที่สอดคล้องกัน

$$\{([x_i, y_i, z_i], [u_i, v_i]) \mid i = 1, \dots, n\}$$

$[u_i, v_i]$ คำนวณจากตำแหน่งพิกเซล (Pixel position) $[r, c]$ โดยที่

$$u = \tau_x d_x (c - u_0) \quad (3.22)$$

$$v = -d_y (r - v_0) \quad (3.23)$$

ในขั้นแรก หาเซต (set) ของ u ของตัวแปรที่คำนวณจากตัวแปรภายนอก

ให้ $\{([x_i, y_i, z_i], [u_i, v_i]) \mid i = 1, \dots, n\}$ คือเมตริกซ์ A ที่มีแถว a_i

$$a_i = [v_i x_i, v_i y_i, -u_i x_i, -u_i y_i, v_i] \quad (3.24)$$

ให้ $\mu = [\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5]$ เป็นเวกเตอร์ (Vector) ของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า โดย

$$\mu_1 = r_{11} / t_x$$

$$\mu_2 = r_{12} / t_x$$

$$\mu_3 = r_{21} / t_x$$

$$\mu_4 = r_{22} / t_x$$

$$\mu_5 = t_x / t_z$$

ให้ $b = [\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n]$ มี μ_i รูป และคู่อันดับ n คู่ที่สัมพันธ์กัน

สมการเชิงเส้นของระบบ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$A \mu = b \quad (3.25)$$

μ สามารถคำนวณจากตัวแปรการหมุนและการเลื่อน

3.12 การปรับเทียบกล้อง (Camera Calibration)

การปรับเทียบกล้องเป็นการหาประมาณเมทริกซ์ M จากจุดในฉาก 3 มิติที่รู้ตำแหน่งและภาพที่เกิดขึ้นของจุด จากนั้นทำการหาพารามิเตอร์ภายในและพารามิเตอร์ภายนอกพิจารณาการปรับเทียบใช้กล้องตัวเดียว ในการหาเมทริกซ์ M เราทำการหาจุดในฉากที่เราทราบพิกัด $X = [x, y, z]^T$ และจุดในภาพ 2 มิติที่สอดคล้องกัน $[u, v]^T$ ซึ่งจะได้สมการที่อยู่ในรูปสมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} \alpha u \\ \alpha v \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

$$\begin{bmatrix} \alpha u \\ \alpha v \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z + m_{14} \\ m_{21}x + m_{22}y + m_{23}z + m_{24} \\ m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

ทำการนอร์มอลไลซ์ให้สมาชิกที่ 3 เป็น 1 จะได้สมการ

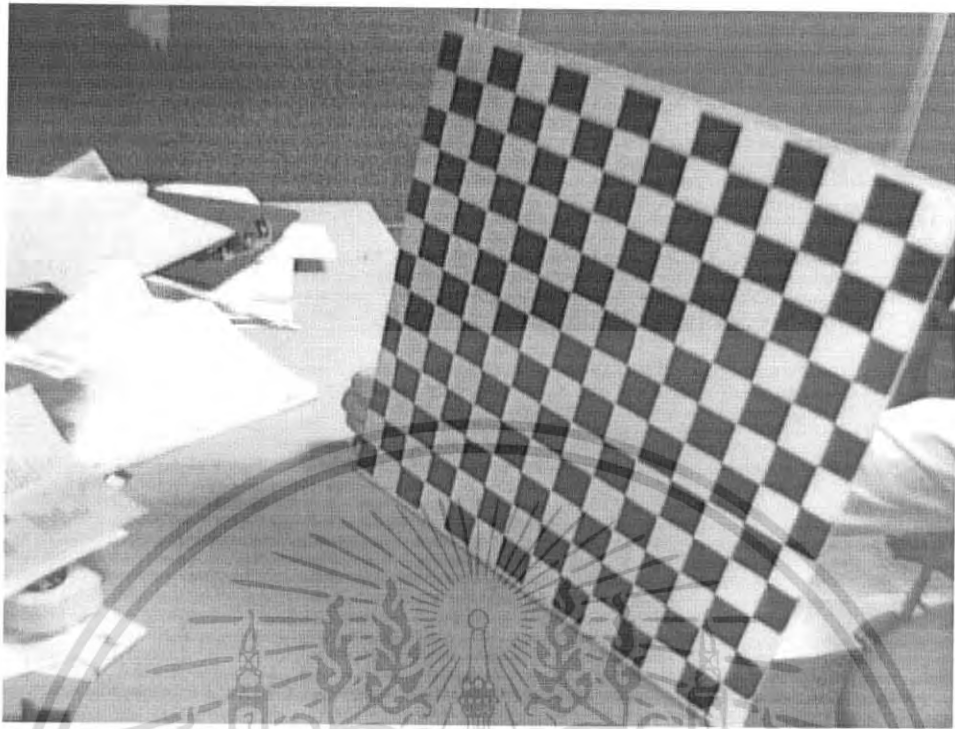
$$u(m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34}) = m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z + m_{14} \quad (3.27)$$

$$v(m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z + m_{34}) = m_{21}x + m_{22}y + m_{23}z + m_{24} \quad (3.28)$$

ดังนั้นเราจะได้สมการเชิงเส้น 2 สมการสำหรับจุดในฉาก 3 มิติหนึ่งจุดและจุดในภาพ 2 มิติที่สอดคล้องกันทำการเขียนสมการใหม่ในรูปของเมทริกซ์ได้เป็น

73158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ภาพของตารางหมากรุกที่นำมาใช้ในการปรับเทียบกล้อง

3.13 การหาพิกัด 3 มิติของจุดในฉากโดยใช้กล้อง 2 ตัว

ในหัวข้อนี้เราพิจารณาการหาพิกัด 3 มิติของจุดในฉากโดยใช้กล้อง 2 ตัว โดยที่กล้องทั้งสองตัวผ่านขบวนการปรับเทียบกล้องที่กล่าวในหัวข้อ ในขบวนการปรับเทียบเราให้กล้องทั้งสองถ่ายภาพวัตถุในฉาก 3 มิติที่เราทราบพิกัด ซึ่งอาจเป็นตารางหมากรุกที่เราทราบขนาดของแต่ละตารางแสดง จากนั้นทำการหาพิกัดของจุดตัดของตารางในกล้องทั้งสอง ทำการคำนวณเมทริกซ์ของ Perspective Transformation M สำหรับแต่ละกล้อง ต่อไปทำการวางวัตถุที่เราต้องการพิกัด 3 มิติในฉาก ทำการหาจุดสอดคล้องของจุดในฉาก 3 มิติของกล้องทั้งสองตัว กำหนดให้เมทริกซ์ของ Perspective Transformation M ของกล้องที่ 1 และ 2 เป็น M และ M ตามลำดับ เราแทนแต่ละแถวของเมทริกซ์ M ด้วย m_1^T, m_2^T, m_3^T ทำนองเดียวกันสำหรับกล้องที่สอง เราแทนแต่ละแถวของเมทริกซ์ M ด้วย m_1^T, m_2^T, m_3^T สำหรับกล้องที่ 1 เราได้

$$u = \begin{bmatrix} u \\ y \\ w \end{bmatrix} = MX = \begin{bmatrix} m_1^T \\ m_2^T \\ m_3^T \end{bmatrix} x \quad (3.30)$$

สำหรับกล้องที่ 2 เราได้

$$u' = \begin{bmatrix} u' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = M'X = \begin{bmatrix} m_1'^T \\ m_2'^T \\ m_3'^T \end{bmatrix} x \quad (3.31)$$

โดยที่ u และ u' แทนพิกัดในภาพของวัตถุในกล้อง 1 และ 2 ตามลำดับ ในการกำจัดค่าสเกลที่ไม่ทราบค่า เราทำการหาสัดส่วนระหว่างสามแถวในเมทริกซ์ Perspective Transformation M

$$u : v : w = m_1^T X : m_2^T X : m_3^T X$$

$$u' : v' : w' = m_1'^T X : m_2'^T X : m_3'^T X$$

ดังนั้นเราได้สมการสำหรับกล้อง 1 และกล้อง 2

$$\begin{aligned} um_2^T X &= vm_1^T X & u' m_2'^T X &= v' m_1'^T X \\ um_3^T X &= vm_1^T X & u' m_3'^T X &= v' m_1'^T X \\ um_3^T X &= vm_2^T X & u' m_3'^T X &= v' m_2'^T X \end{aligned} \quad (3.32)$$

สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} um_2^T - vm_1^T \\ um_3^T - vm_1^T \\ um_3^T - vm_2^T \end{bmatrix} X = 0 \quad \begin{bmatrix} u' m_2'^T - v' m_1'^T \\ u' m_3'^T - v' m_1'^T \\ u' m_3'^T - v' m_2'^T \end{bmatrix} X = 0 \quad (3.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการคูณแถวแรกของสมการแรกด้วย w แถวที่สองด้วย $-v$ แล้วทำการบวกเราได้

$$(uwm_2^T - vwm_1^T - uvm_3^T + vwm_1^T)X = (uwm_2^T - uvm_3^T)X = 0 \quad (3.34)$$

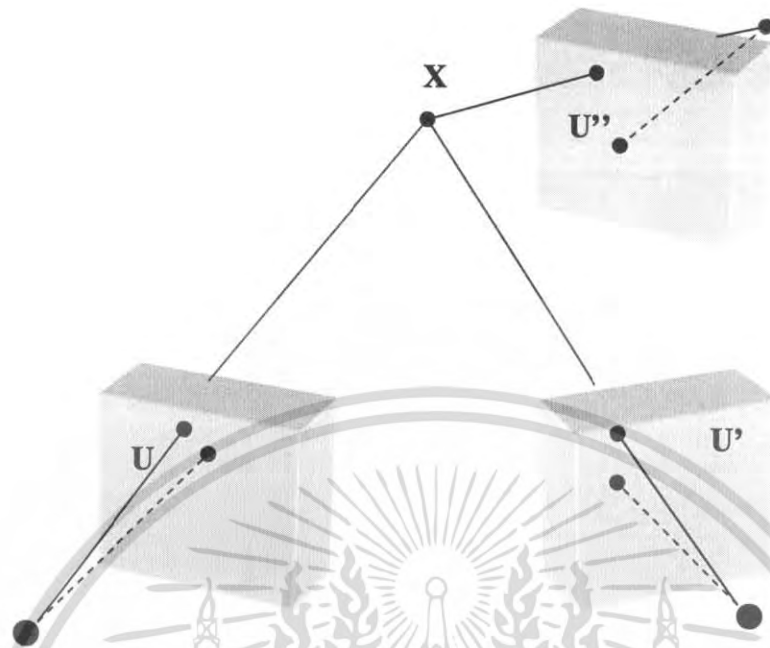
จากสมการนี้เห็นว่าสมการนี้ มีคุณสมบัติ Linearly Dependent กับแถวที่สามของสมการครั้งที่ 1 ดังนั้นแต่ละกล้องเราใช้ได้เพียง 2 สมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} um_3^T - vm_1^T \\ um_3^T - vm_2^T \end{bmatrix} X = 0 \quad \text{และ} \quad \begin{bmatrix} u'm_3^T - v'm_1^T \\ u'm_3^T - v'm_2^T \end{bmatrix} X = 0 \quad (3.35)$$

เขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} um_3^T - vm_1^T \\ vm_3^T - wm_2^T \\ um_3^T - vm_1^T \\ vm_3^T - wm_2^T \end{bmatrix} X = AX = 0 \quad (3.36)$$

ทำการแก้สมการโฮโมจีเนียส สำหรับพิกัด 3 มิติ X โดยเราสนใจเฉพาะคำตอบประเภท Non - Trivial หรือกรณี $\det(A) = 0$



รูปที่ 3.8 การหาพิกัด 3 มิติโดยใช้กล้อง 3 มิติ

สำหรับกรณีของใช้ 3 กล้องหรือมากกว่าเราได้สมการในลักษณะเดียวกัน เช่นถ้าใช้กล้อง 3 ตัว ดังแสดงในรูป

$$\begin{bmatrix} um_3^T - wm_1^T \\ v'm_3^T - w'm_2^T \\ u''m_3^T - w''m_1^T \\ v''m_3^T - w''m_2^T \\ u'''m_3^T - w'''m_1^T \\ v'''m_3^T - w'''m_2^T \end{bmatrix} X = AX = 0 \quad (3.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วงจรสวิทช์ก้องและการตั้งค่าของอุปกรณ์

4.1 วงจร analog switch

เป็นวงจรที่ใช้ในการ switch เลือกรับภาพจากกล้องโดย serial port เป็นตัวเลือกกล้อง และสามารถเลือกได้โดยผ่าน โปรแกรมที่เขียนขึ้นมา

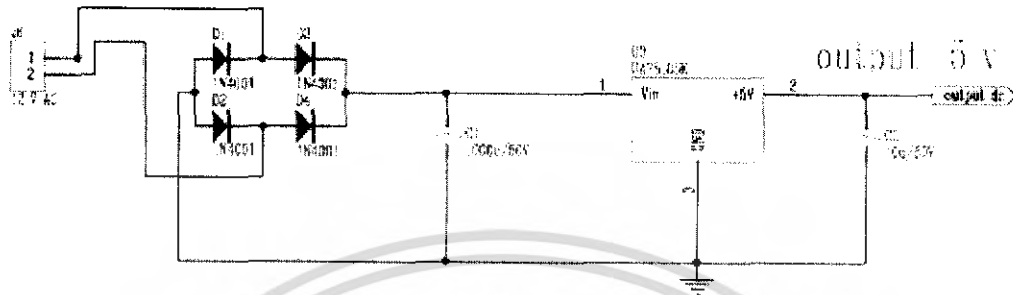
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้

1. 1N4001	4	ตัว
2. 1N4148	1	ตัว
3. BC547	1	ตัว
4. BC557	1	ตัว
5. IC SN74HC4066	1	ตัว
6. LM78L05	1	ตัว
7. ความต้านทาน 1k	2	ตัว
8. ความต้านทาน 10 k	1	ตัว
9. ความต้านทาน 100k	1	ตัว

4.3 ส่วนประกอบของวงจรสวิทช์ก้อง

4.3.1 จ่ายแรงดันไฟตรง 5 v

การทำงาน ของแรงจ่ายกระแสไฟตรงทำหน้าที่ดังนี้ โดยผ่านเรกติไฟร์ทำให้เป็นแรงดันกระแสตรงโดย C1 ทำให้กรองแรงดันให้เรียบ ตัว LM78L05 ทำหน้าที่เรกติไฟร์ให้จ่ายแรงดัน 5 v



รูปที่ 4.1 วงจรจ่ายแรงดันกระแสตรง 5 v

4.3.2. วงจรสวิสต์ก่ดอง

4.3.2.1 การทำงานวงจรสวิสต์

ต้องการให้ switch 1 on โดยสั่งให้ input ที่ serial port เป็น -10 v จะได้ output (switch 1) ออกมาเป็น high (5 v)

1. ต้องการให้ switch 2 on โดยสั่งให้ serial port มีค่าเป็น 10 v จะทำให้ output (switch 2) ออกมาเป็น high (5 v)

4.3.2.2 การออกแบบวงจรสวิสต์

เราต้องการให้ switch 1 และ switch 2 on ที่ 5 v, 5 mA

- กรณี switch 1 on

เมื่อเราต้องการให้ switch 1 on ที่ port serial ปกติจะมีศักดาเป็นลบ เพราะฉะนั้นเราก็ต้องต่อ R = 1k จะมีกระแสจ่ายให้วงจรเท่ากับ (Vcc มีค่าเท่ากับ 5v)

$$I = 5 / 1k = 5 \text{ mA}$$

- กรณี switch 2 on

Q1 และ Q2 ต้องทำงาน switch 2 ถึงจะ on ในการคำนวณค่าความต้านทาน ในที่นี้ port serial จะมีค่าศักดาเท่ากับ 11 v ($V_{ce(sat)1}$ เป็นของ Q1, V_{be2} เป็นของ Q2, I_{b2} เป็นของ Q2, I_{c2} เป็นของ Q2, V_{b2} เป็นของ Q2)

$$V_{b2} = V_{cc} - 0.7$$

$$I_{b2} = (V_{b2} - V_{ce(sat)1}) / 100 \text{ k}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{b2} = (V_{cc} - 0.7 - V_{ce(set)1}) / 100 \text{ k}$$

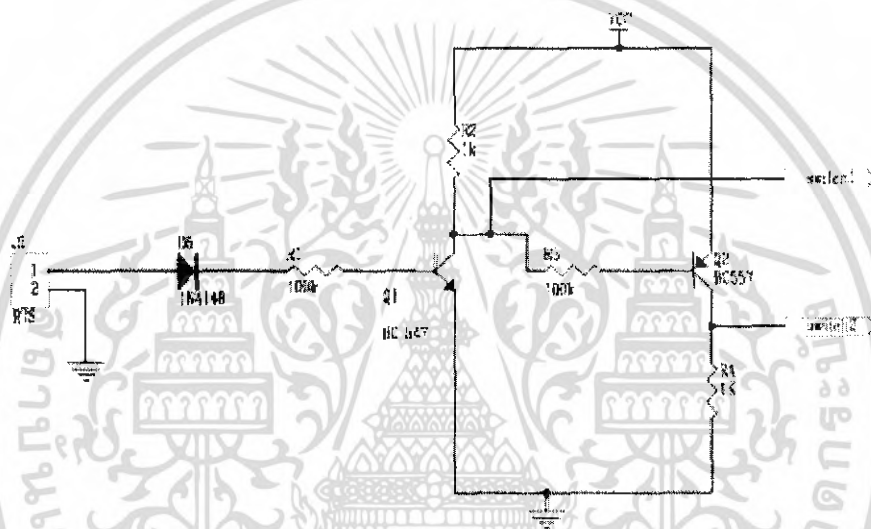
$$I_{b2} = (5 - 0.7 - 0.25) / 100 \text{ k}$$

$$I_{b2} = 0.0405 \text{ mA}$$

$$I_{c2} = \beta I_{b2} = 125 * 0.0405 = 5 \text{ mA}$$

$$V_{c2} = I_{c2} * 1 \text{ K} = 5 \text{ V}$$

เพราะฉะนั้น Switch 2 จะมีศักดาเท่ากับ 5 V และ Switch 1 จะมีศักดาเท่ากับ 0.25 V (OFF)

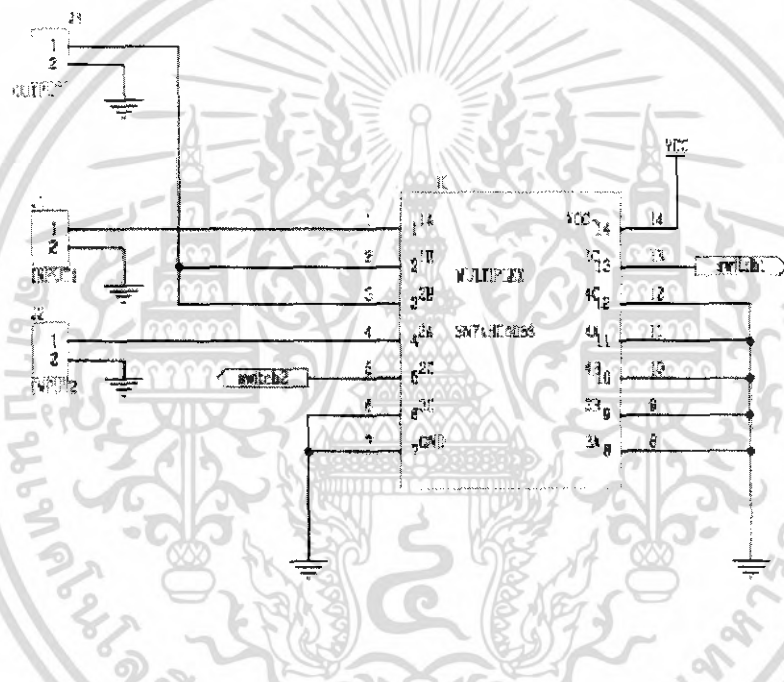


รูปที่ 4.2 วงจรที่ switch

4.3.2.3 การทำงานของ SN74HC4066

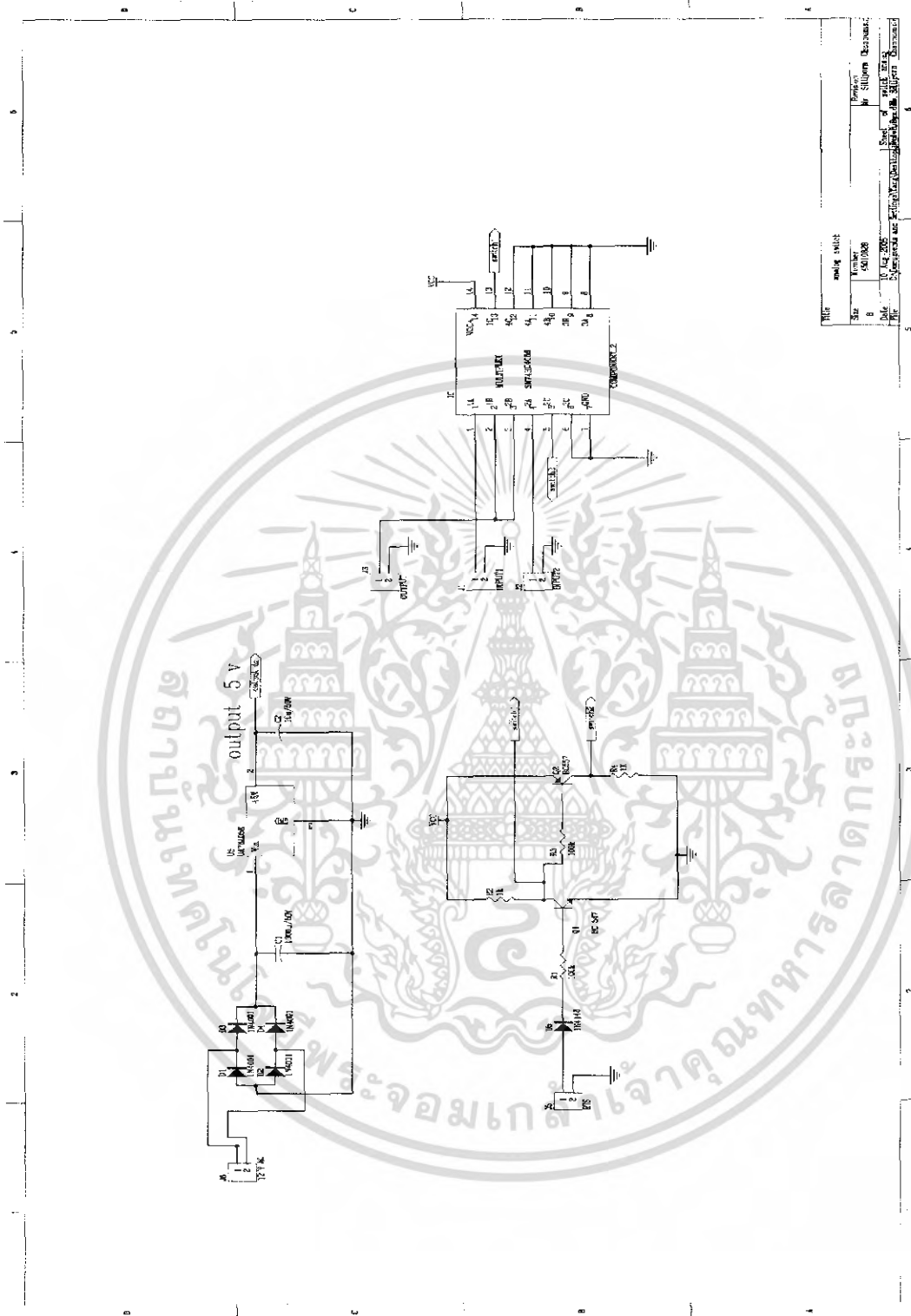
เราจะทำการส่งอินพุต(ภาพจากกล้อง)ไปรออยู่ที่ ขา 1a และ 2a และใช้วงจร switch เป็น ตัวเลือกในการทำงานโดย serial port เป็นตัวกำหนดในการเลือกกล้องถ้าไม่มีอินพุตจาก serial port มา switch 1 จะเป็น high กล้องตัวที่หนึ่ง จะ on เมื่อมีอินพุตจาก serial port ประมาณ 10 v ทำให้ transistor bc547 และ bc557 ทำงาน ทำให้ switch 1 เป็น low ส่วน switch 2 จะเป็น high ทำให้ กล้องตัวที่สองส่งภาพเข้าคอมพิวเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



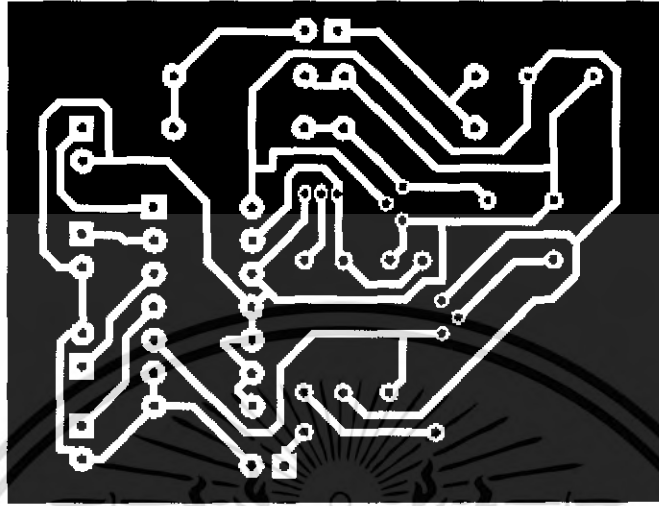
รูปที่ 4.3 IC SN74HC4066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

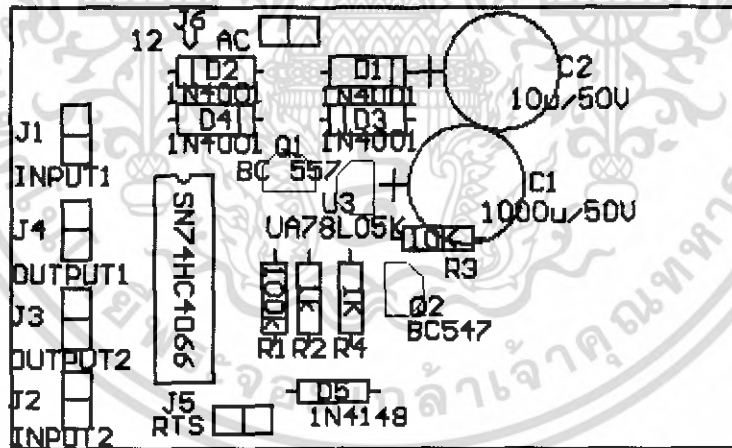


รูปที่ 4.4 Schematic analog switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

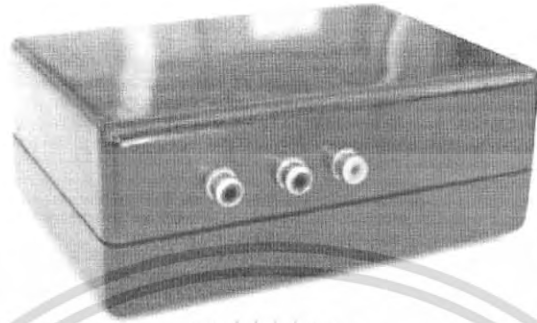


รูปที่ 4.5 ลายวงจร analog switch



รูปที่ 4.6 อุปกรณ์ที่วางบนลายแผ่นปริ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 วงจร analog switch ประกอบลง case (ด้านหน้า)

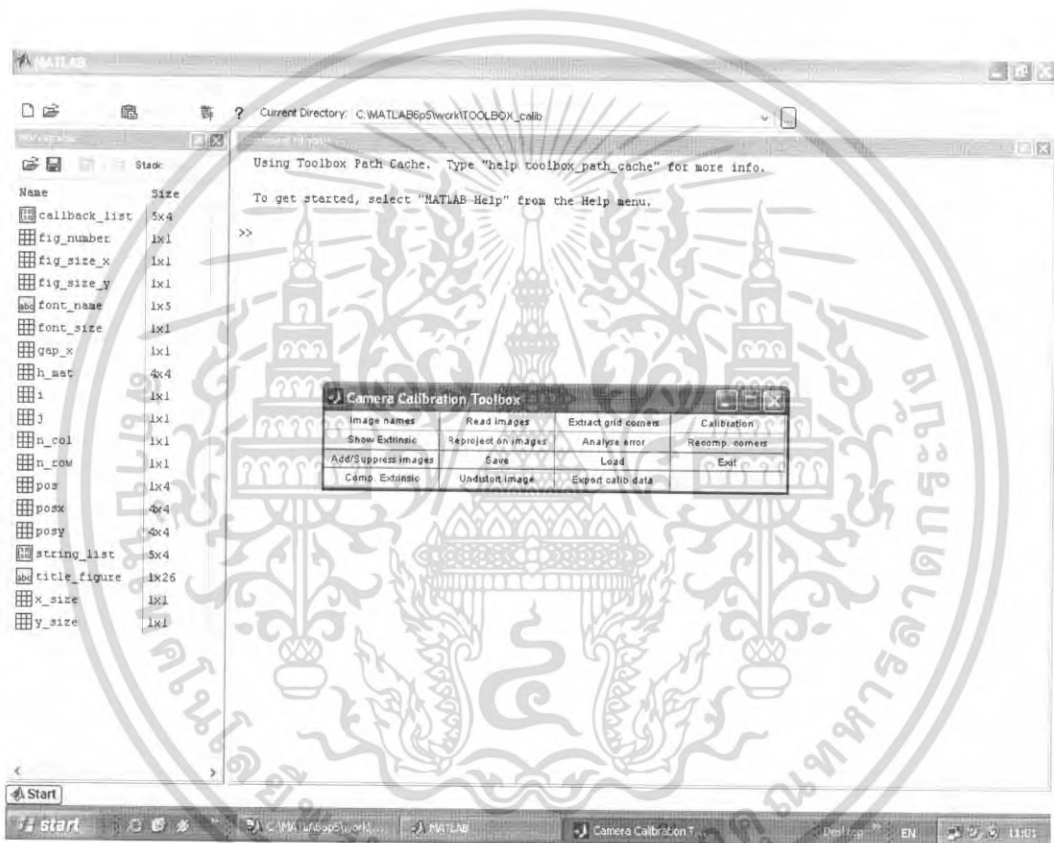


รูปที่ 4.8 วงจร analog switch ประกอบลง case (ด้านหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วิธีการหาความยาวโฟกัสของกล้อง CCD CAMERA

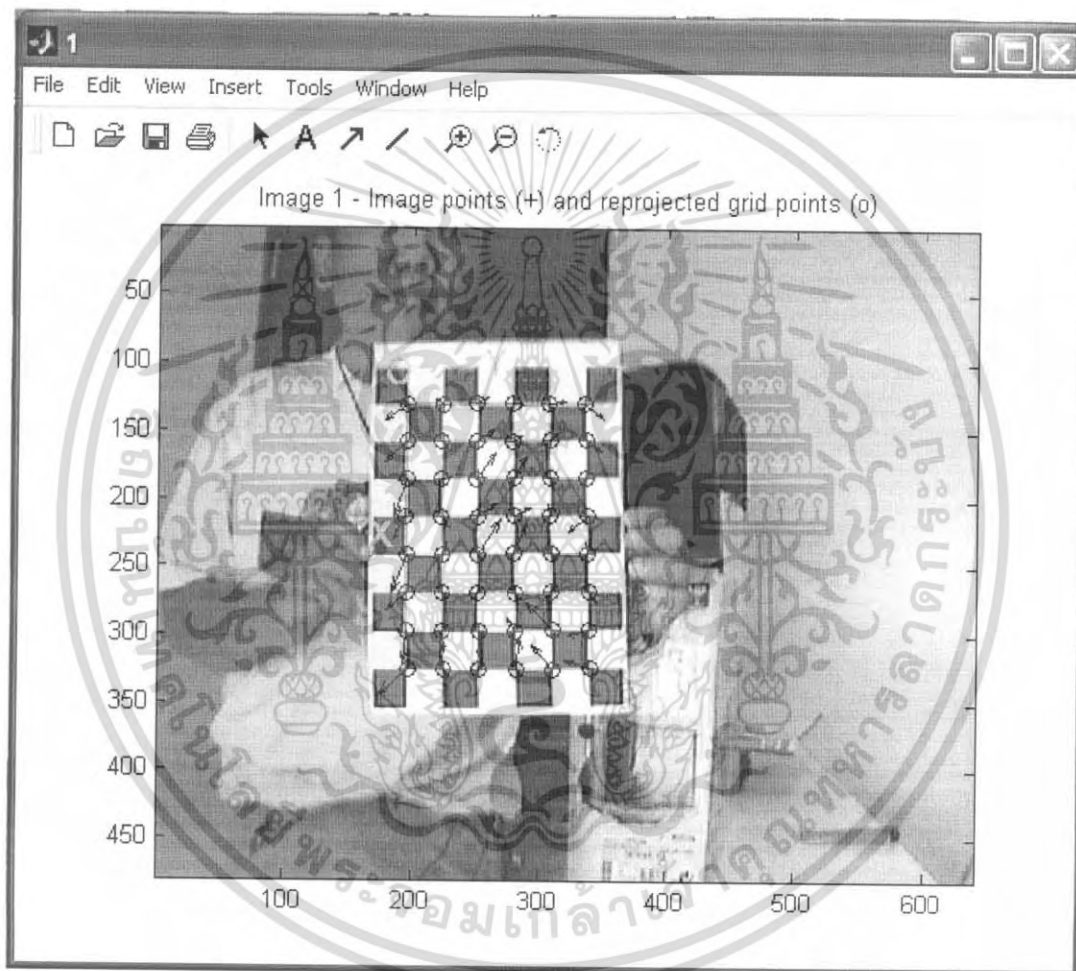
1. ถ่ายรูปที่เป็นตารางหมากรุกมา 12 รูป ที่มีมุมต่างๆกัน ด้วยกล้องตัวเดียวกัน แล้วมาผ่าน โปรแกรม application เพื่อหาค่าความยาวโฟกัสของกล้อง
2. เพื่อผ่านโปรแกรมการคาริเบตกล้องจะสามารถหาโฟกัสของกล้องได้
3. ทำการคาริเบตกล้อง CCV อีกกล้องและกล้อง SONY



รูปที่ 4.9 โปรแกรมที่ใช้ในการคาริเบตกล้อง

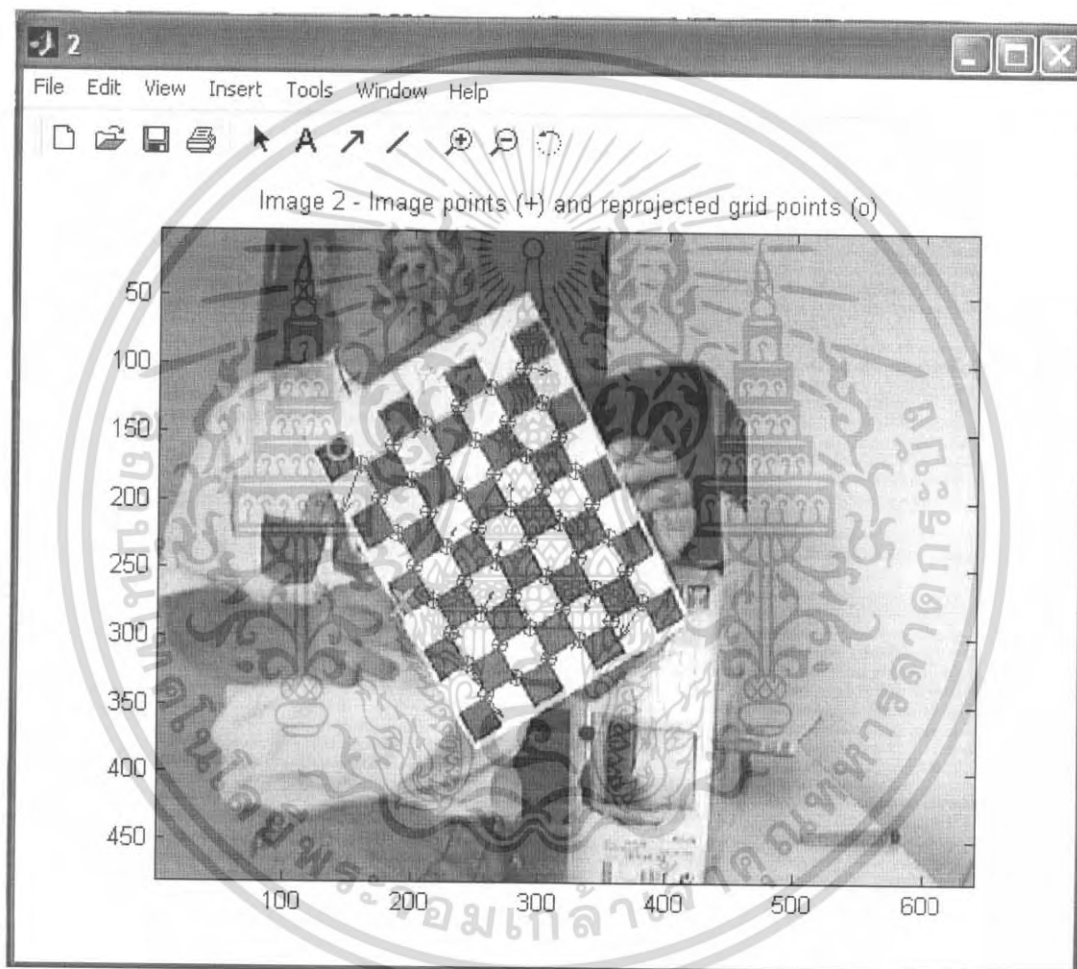
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างในการถ่ายภาพเพื่อการรีเบลกล้อง



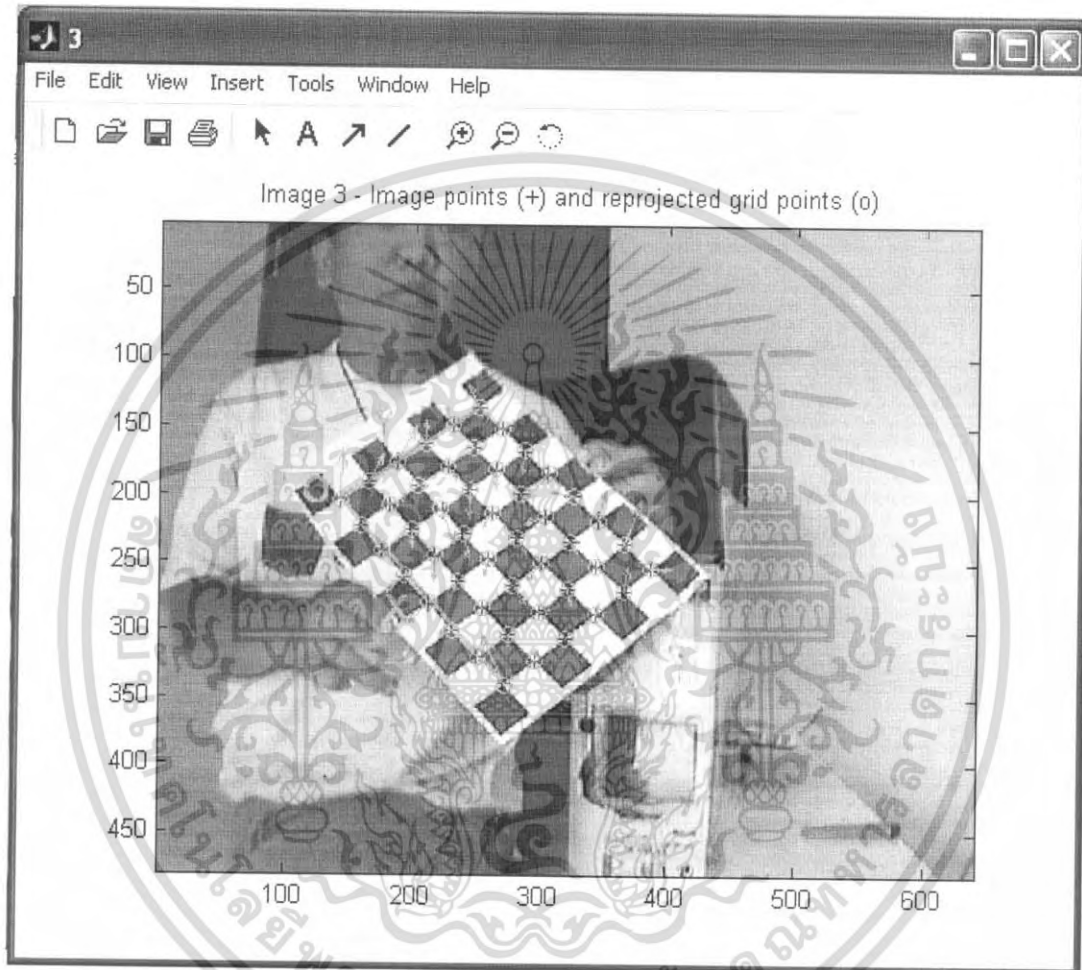
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการถ่ายภาพเพื่อการรีเบลกล้อง รูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



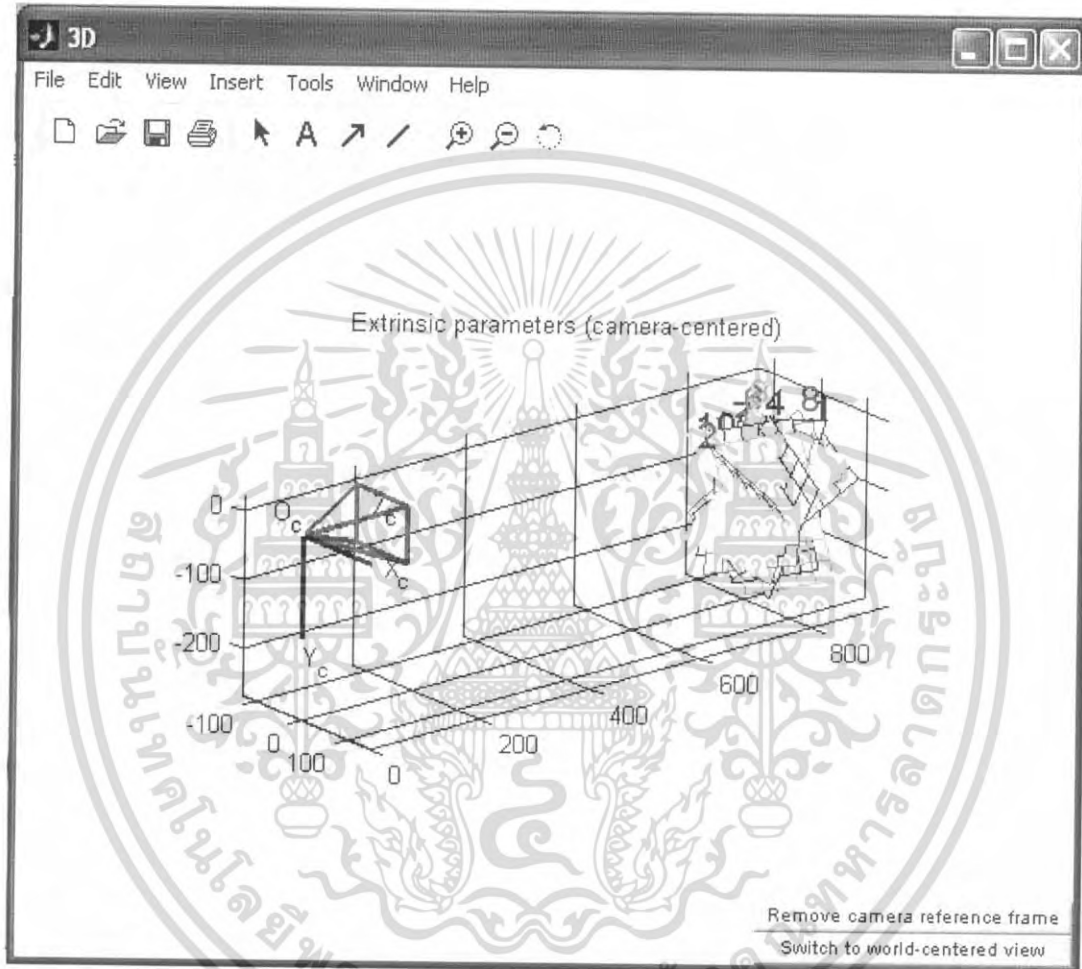
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการถ่ายภาพเพื่อการรีเบรกสิ่ง รูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการถ่ายภาพเพื่อการรีแมตคั้ง รูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การวางตัวของตาราง 12 ภาพ ของกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 ค่าพิกัดของกล้อง CCV

กล้อง ccv ตัวที่ 1

ระยะที่ 80 เซนติเมตร

Calibration results after optimization (with uncertainties):

Focal Length: $fc = [887.46846 \ 885.74285] \pm [28.18151 \ 30.94535]$
 Principal point: $cc = [316.20899 \ 184.00148] \pm [29.94215 \ 31.47230]$
 Skew: $\alpha_c = [0.00000] \pm [0.00000] \Rightarrow$ angle of pixel axes = 90.00000 ± 0.00000
 degrees
 Distortion: $kc = [-0.73040 \ 1.64255 \ 0.00447 \ 0.01230 \ 0.00000] \pm [0.14218 \ 1.12874$
 $0.01087 \ 0.01272 \ 0.00000]$
 Pixel error: $err = [0.44474 \ 0.54550]$

ระยะที่ 100 เซนติเมตร

Calibration results after optimization (with uncertainties):

Focal Length: $fc = [922.01251 \ 914.79166] \pm [37.35717 \ 40.20827]$
 Principal point: $cc = [386.84789 \ 197.45901] \pm [37.89289 \ 49.57067]$
 Skew: $\alpha_c = [0.00000] \pm [0.00000] \Rightarrow$ angle of pixel axes = 90.00000 ± 0.00000
 degrees
 Distortion: $kc = [-0.22969 \ -3.41472 \ 0.00092 \ -0.00598 \ 0.00000] \pm [0.42516$
 $5.81490 \ 0.02539 \ 0.01057 \ 0.00000]$
 Pixel error: $err = [0.39011 \ 0.53033]$

ระยะที่ 120 เซนติเมตร

Calibration results after optimization (with uncertainties):

Focal Length: $fc = [947.81358 \ 940.47745] \pm [45.97728 \ 50.99768]$
 Principal point: $cc = [392.18821 \ 384.74004] \pm [20.22300 \ 45.59914]$
 Skew: $\alpha_c = [0.00000] \pm [0.00000] \Rightarrow$ angle of pixel axes = 90.00000 ± 0.00000
 degrees
 Distortion: $kc = [-0.02557 \ -4.48851 \ -0.01574 \ -0.00985 \ 0.00000] \pm [0.33766$
 $4.12806 \ 0.03386 \ 0.00727 \ 0.00000]$
 Pixel error: $err = [0.25347 \ 0.33729]$

ระยะที่ 140 เซนติเมตร

Calibration results after optimization (with uncertainties):

Focal Length: $fc = [1012.27882 \ 1007.41691] \pm [49.76265 \ 51.08827]$
 Principal point: $cc = [348.93111 \ 312.76147] \pm [32.66620 \ 52.66438]$
 Skew: $\alpha_c = [0.00000] \pm [0.00000] \Rightarrow$ angle of pixel axes = 90.00000 ± 0.00000
 degrees
 Distortion: $kc = [-0.31206 \ -9.02000 \ -0.00617 \ -0.00016 \ 0.00000] \pm [0.57448$
 $16.80231 \ 0.03066 \ 0.01130 \ 0.00000]$
 Pixel error: $err = [0.19629 \ 0.27088]$

กล้อง CCV ตัวที่ 2

ระยะที่ 80 เซนติเมตร

Calibration results after optimization (with uncertainties):

Focal Length: $fc = [887.46846 \ 885.74285] \pm [28.18151 \ 30.94535]$
 Principal point: $cc = [316.20899 \ 184.00148] \pm [29.94215 \ 31.47230]$
 Skew: $\alpha_c = [0.00000] \pm [0.00000] \Rightarrow$ angle of pixel axes = 90.00000 ± 0.00000 degrees
 Distortion: $kc = [-0.73040 \ 1.64255 \ 0.00447 \ 0.01230 \ 0.00000] \pm [0.14218 \ 1.12874 \ 0.01087 \ 0.01272 \ 0.00000]$
 Pixel error: $err = [0.44474 \ 0.54550]$

ระยะที่ 100 เซนติเมตร

Calibration results after optimization (with uncertainties):

Focal Length: $fc = [922.01251 \ 914.79166] \pm [37.35717 \ 40.20827]$
 Principal point: $cc = [386.84789 \ 197.45901] \pm [37.89289 \ 49.57067]$
 Skew: $\alpha_c = [0.00000] \pm [0.00000] \Rightarrow$ angle of pixel axes = 90.00000 ± 0.00000 degrees
 Distortion: $kc = [-0.22969 \ -3.41472 \ 0.00092 \ -0.00598 \ 0.00000] \pm [0.42516 \ 5.81490 \ 0.02539 \ 0.01057 \ 0.00000]$
 Pixel error: $err = [0.39011 \ 0.53033]$

ระยะที่ 120 เซนติเมตร

Calibration results after optimization (with uncertainties):

Focal Length: $fc = [947.81358 \ 940.47745] \pm [45.97728 \ 50.99768]$ Principal point: $cc = [392.18821 \ 384.74004] \pm [20.22300 \ 45.59914]$ Skew: $\alpha_c = [0.00000] \pm [0.00000] \Rightarrow$ angle of pixel axes = 90.00000 ± 0.00000
degreesDistortion: $kc = [-0.02557 \ -4.48851 \ -0.01574 \ -0.00985 \ 0.00000] \pm [0.33766$
 $4.12806 \ 0.03386 \ 0.00727 \ 0.00000]$ Pixel error: $err = [0.25347 \ 0.33729]$ **ระยะที่ 140 เซนติเมตร**

Calibration results after optimization (with uncertainties):

Focal Length: $fc = [1012.27882 \ 1007.41691] \pm [49.76265 \ 51.08827]$ Principal point: $cc = [348.93111 \ 312.76147] \pm [32.66620 \ 52.66438]$ Skew: $\alpha_c = [0.00000] \pm [0.00000] \Rightarrow$ angle of pixel axes = 90.00000 ± 0.00000
degreesDistortion: $kc = [-0.31206 \ -9.02000 \ -0.00617 \ -0.00016 \ 0.00000] \pm [0.57448$
 $16.80231 \ 0.03066 \ 0.01130 \ 0.00000]$ Pixel error: $err = [0.19629 \ 0.27088]$

กล้อง Sony

ระยะที่ 80 เซนติเมตร

Calibration results after optimization (with uncertainties):

Focal Length: $f_c = [1086.34009 \ 1084.78495] \text{ ท } [35.43238 \ 41.88964]$
 Principal point: $cc = [350.53970 \ 357.64980] \text{ ท } [20.69081 \ 46.89353]$
 Skew: $\alpha_c = [0.00000] \text{ ท } [0.00000] \Rightarrow \text{angle of pixel axes} = 90.00000 \text{ ท } 0.00000$
 degrees
 Distortion: $k_c = [0.07162 \ 0.01638 \ 0.05630 \ 0.00245 \ 0.00000] \text{ ท } [0.24460 \ 1.46402$
 $0.02366 \ 0.00649 \ 0.00000]$
 Pixel error: $err = [0.63236 \ 0.99450]$

ระยะที่ 100 เซนติเมตร

Calibration results after optimization (with uncertainties):

Focal Length: $f_c = [1142.39226 \ 1096.96006] \text{ ท } [48.67663 \ 42.95394]$
 Principal point: $cc = [212.61350 \ 251.18982] \text{ ท } [53.75221 \ 30.75520]$
 Skew: $\alpha_c = [0.00000] \text{ ท } [0.00000] \Rightarrow \text{angle of pixel axes} = 90.00000 \text{ ท } 0.00000$
 degrees
 Distortion: $k_c = [-0.03734 \ 0.35964 \ 0.00918 \ -0.04265 \ 0.00000] \text{ ท } [0.26652 \ 1.06731$
 $0.00869 \ 0.03296 \ 0.00000]$
 Pixel error: $err = [0.40873 \ 0.73516]$

ระยะที่ 120 เซนติเมตร

Calibration results after optimization (with uncertainties):

Focal Length: $fc = [1181.10165 \ 1288.25029] \text{ ท } [205.24960 \ 111.74251]$
 Principal point: $cc = [61.12321 \ 246.40728] \text{ ท } [113.96103 \ 21.04495]$
 Skew: $\alpha_c = [0.00000] \text{ ท } [0.00000] \Rightarrow \text{angle of pixel axes} = 90.00000 \text{ ท } 0.00000$
 degrees
 Distortion: $kc = [0.73685 \ -0.34822 \ 0.00757 \ -0.21859 \ 0.00000] \text{ ท } [0.48323 \ 1.05171$
 $0.00898 \ 0.08475 \ 0.00000]$
 Pixel error: $err = [0.33809 \ 0.60241]$

ระยะที่ 140 เซนติเมตร

Calibration parameters after optimization (with uncertainties):

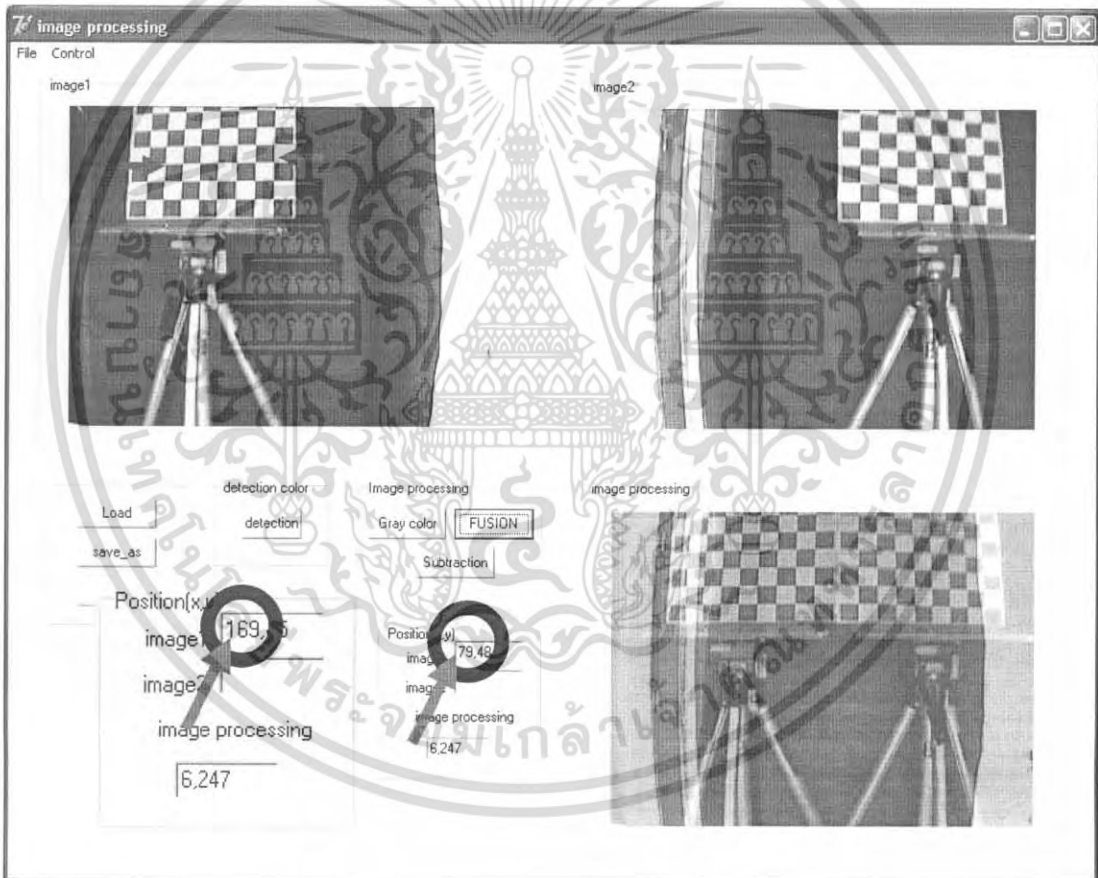
Focal Length: $fc = [1197.27934 \ 1197.27934]$
 Principal point: $cc = [319.50000 \ 239.50000]$
 Skew: $\alpha_c = [0.00000] \Rightarrow \text{angle of pixel} = 90.00000 \text{ degrees}$
 Distortion: $kc = [0.00000 \ 0.00000 \ 0.00000 \ 0.00000 \ 0.00000] \text{ ท } [0.48323 \ 1.05171$
 $0.00898 \ 0.08475 \ 0.00000]$
 Pixel error: $err = [0.33809 \ 0.60241]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การหาค่าพิกเซลต่อเซนติเมตร

1. capture image1 และ image2 จากกล้อง
2. วัดตำแหน่งพิกเซลมา 2 ตำแหน่ง แล้ววัดความยาวจริงที่วัดได้มาหารระยะห่างระหว่างระยะพิกเซล 2 ตำแหน่ง
3. ความยาวต่อช่องเท่ากับ 3 เซนติเมตร ช่วงที่วัดมีทั้งหมด 6 ช่อง เพราะฉะนั้นความยาวได้เท่ากับ 18 เซนติเมตร สามารถหาค่าของระยะพิกเซลต่อเซนติเมตรได้

ที่ระยะพิกเซล 80 เซนติเมตร

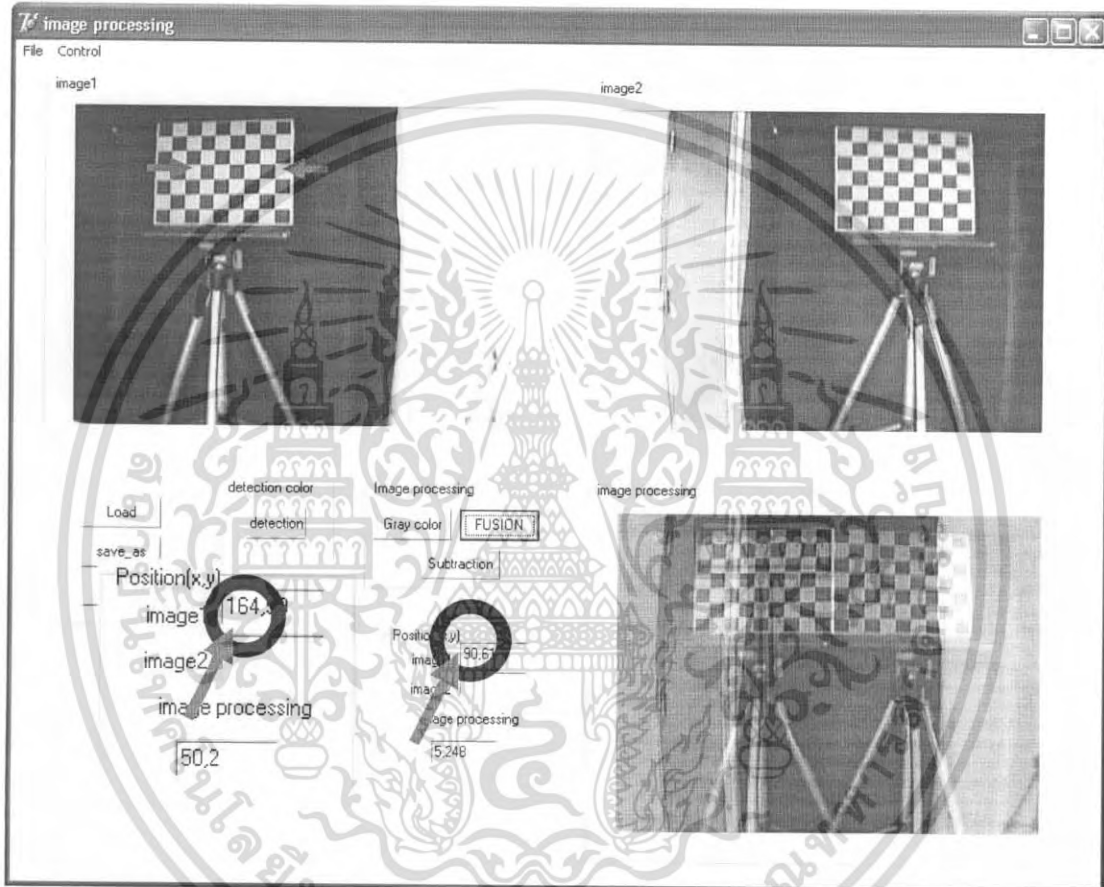


รูปที่ 4.14 หาระยะพิกเซลต่อจุด ที่ $z = 80$ cm.

ระยะที่ $z = 80$ cm. ค่าต่อพิกเซลได้ $(169 - 79)/18 = 5$ พิกเซลต่อเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะพิเซล 100 เซนติเมตร

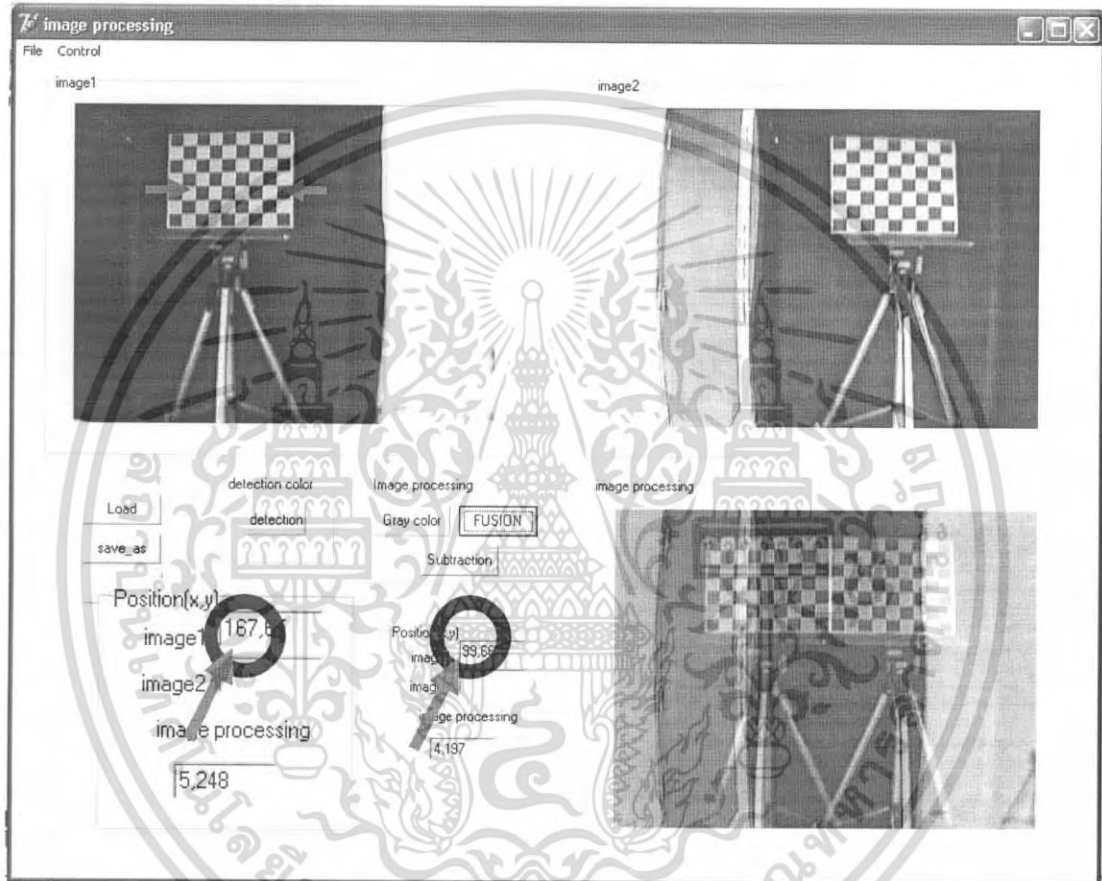


รูปที่ 4.15 หาระยะพิเซลต่อจุด ที่ $z = 100$ cm.

ระยะที่ $z = 100$ cm. ค่าต่อพิเซลได้ $(164 - 90)/18 = 4.11$ พิกเซลต่อเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะพิเซล 120 เซนติเมตร

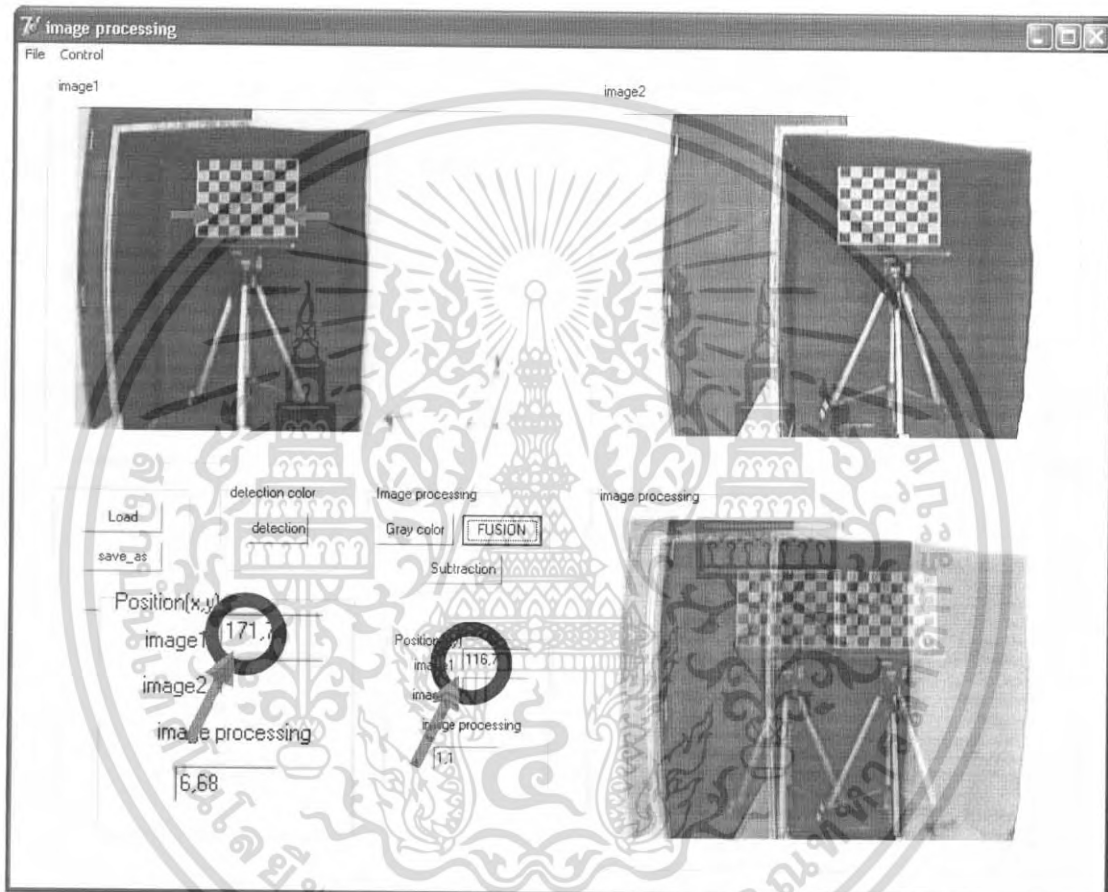


รูปที่ 4.15 หาระยะพิเซลต่อจุด ที่ $z = 120$ cm.

ระยะที่ $z = 120$ cm. ค่าต่อพิเซลได้ $(167 - 99)/18 = 3.77$ พิกเซลต่อเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะพิเซล 140 เซนติเมตร



รูปที่ 4.16 ทาระยะพิเซลต่อจุด ที่ $z = 140$ cm.

ระยะที่ $z = 140$ cm. ค่าต่อพิเซลได้ $(171 - 116) / 18 = 3.05$ พิกเซลต่อเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

มีการทดลอง 3 การทดลอง

5.1 การทดลองที่ 1 สร้างภาพ 3 D

วิธีการทดลอง

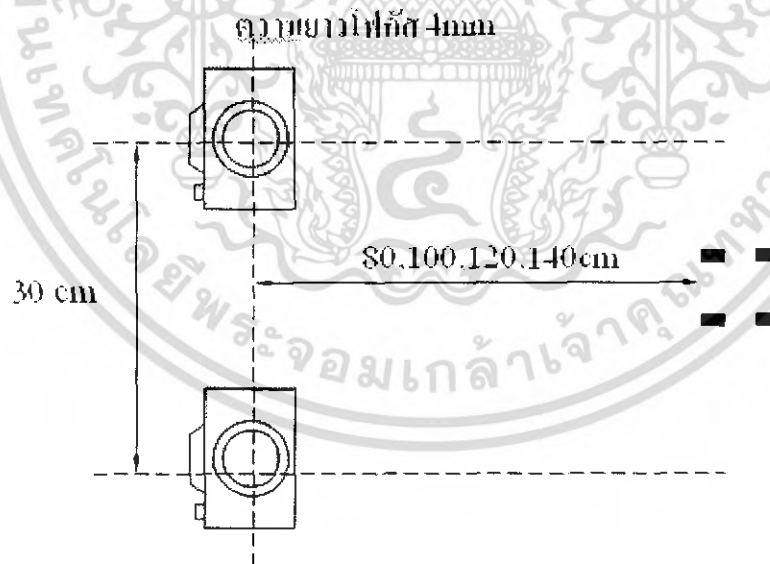
1. ถ่ายภาพวัตถุโดยกล้อง ccv camera

รูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งของกล้องถ่ายรูป โดยการถ่ายจากกล้อง 2 ตัว โดยผ่านตัวสวิตซ์อัตโนมัติที่มีตัวล็อกในการเก็บภาพ โดยถ่ายในตำแหน่งทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของวัตถุ ระยะห่างระหว่างกล้องเท่ากับ 30 เซนติเมตร และทำการเก็บบันทึกภาพ โดยจะทำการเปลี่ยนระยะของวัตถุจากกล้อง 4 ค่า คือ 80,100,120,140 เซนติเมตร

2. ทำการเลือกจุดสีที่ต้องการตรวจจับ โดยต้องเลือกสีและเลือกตำแหน่งเดียวกันของรูปทั้งสองรูปแล้วกดปุ่ม 3D เลือกให้ครบทุกจุดสีจากนั้นกดปุ่ม line 3D จะรูปเกิดขึ้น

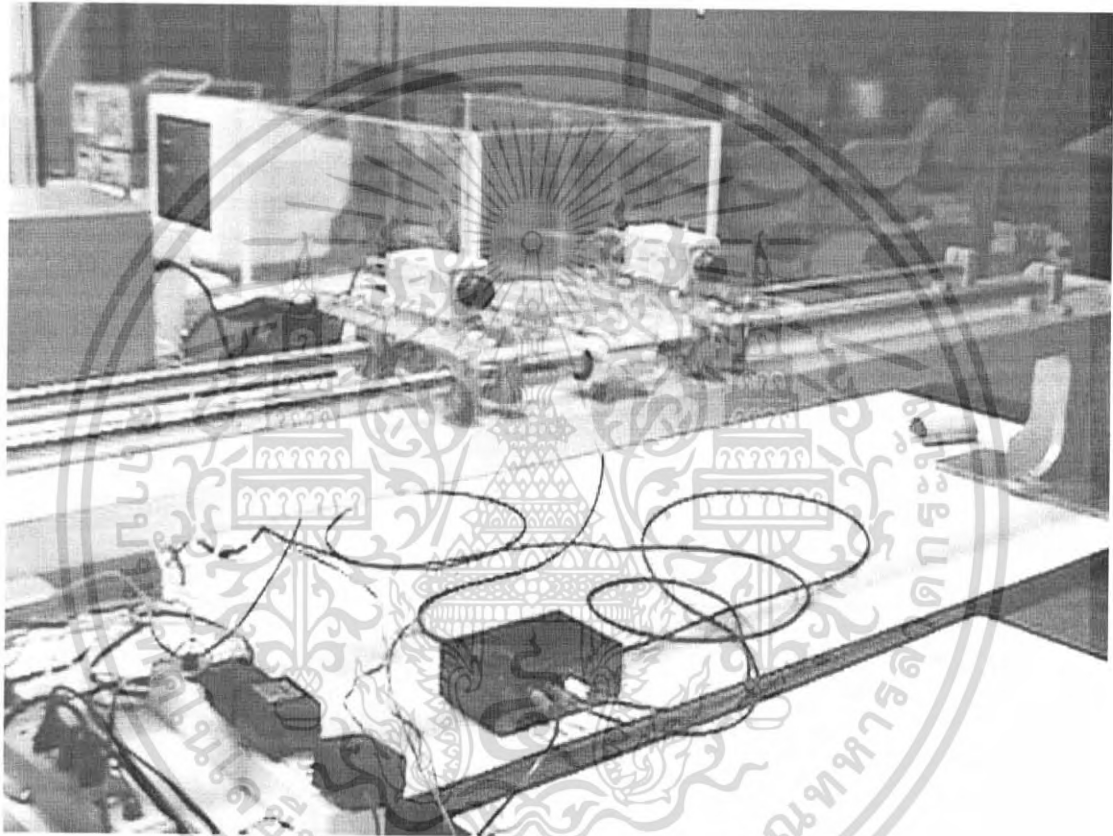
3. ทำการทดลองเหมือนเดิมแต่เปลี่ยนกล้องเป็นกล้อง sony

4. ทำการทดลองโดยตรวจจับสีจากโปรเจคเตอร์แล้วทำการสร้างภาพ 3 มิติจาก Matlab



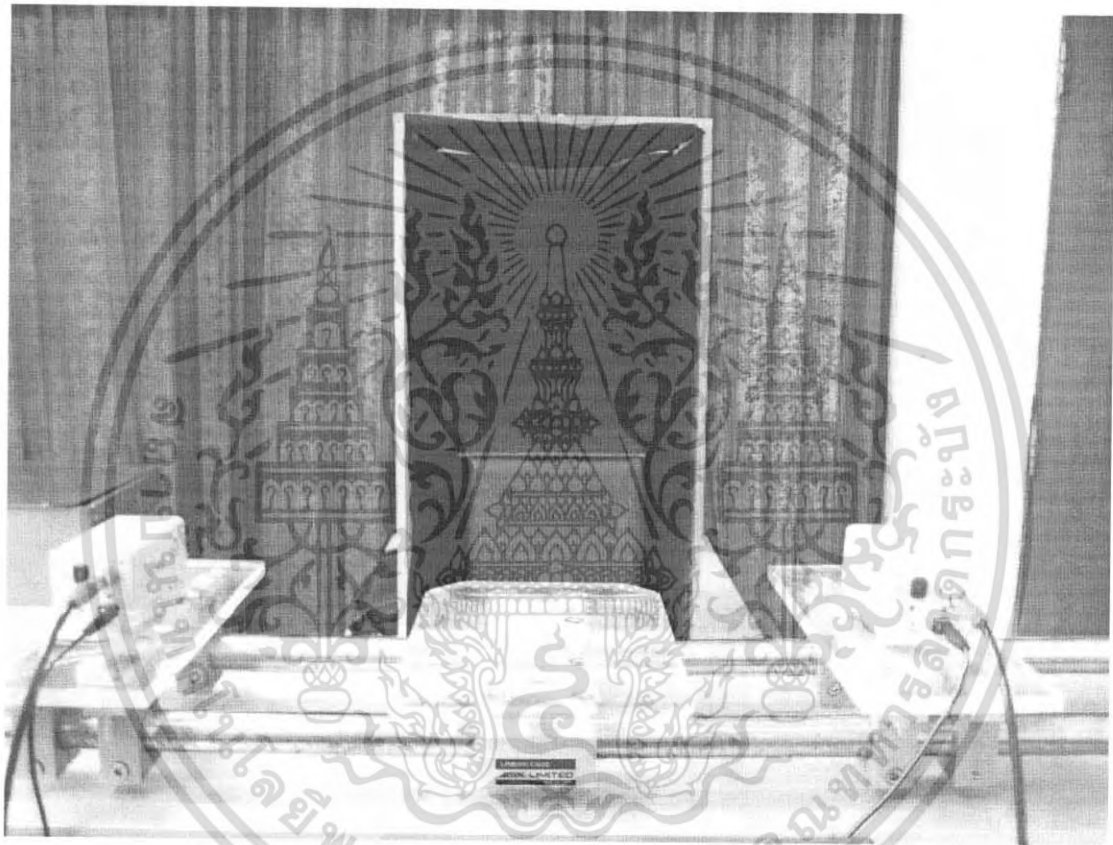
รูปที่ 5.1 การวางกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



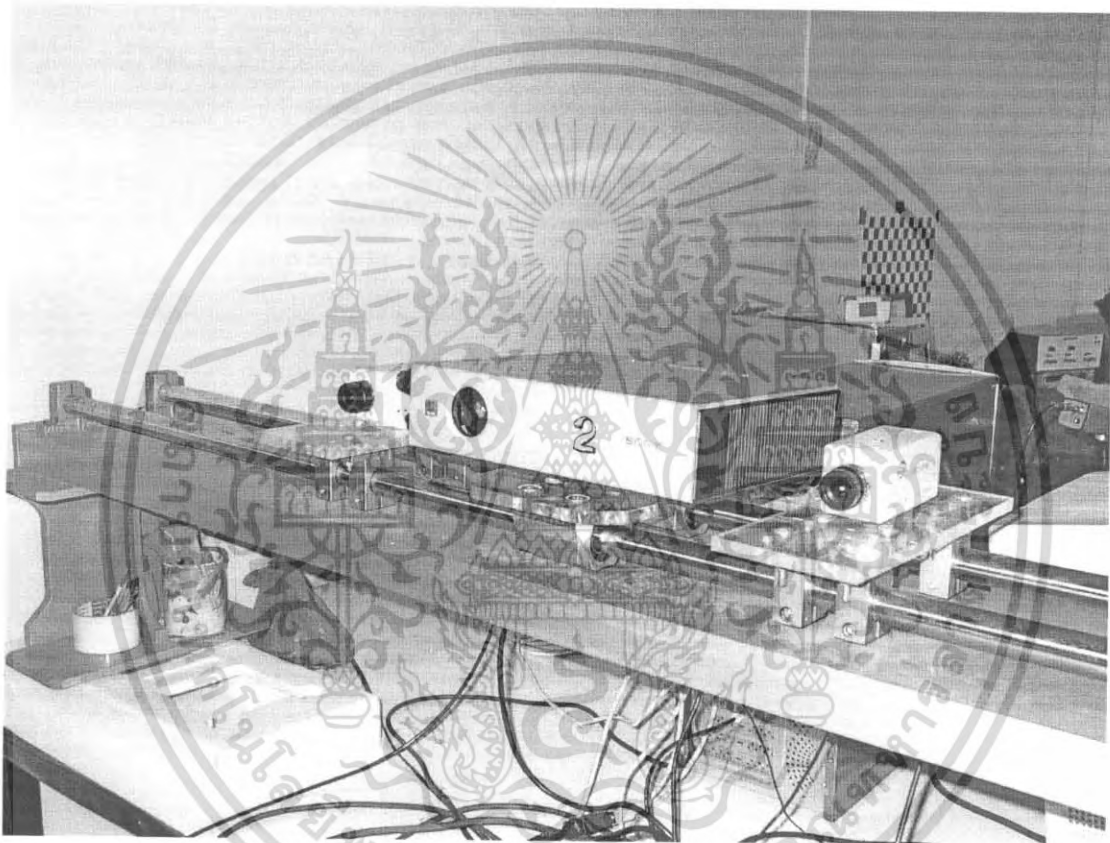
รูปที่ 5.2 อุปกรณ์ในการทดลองที่ 1 ถึง 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



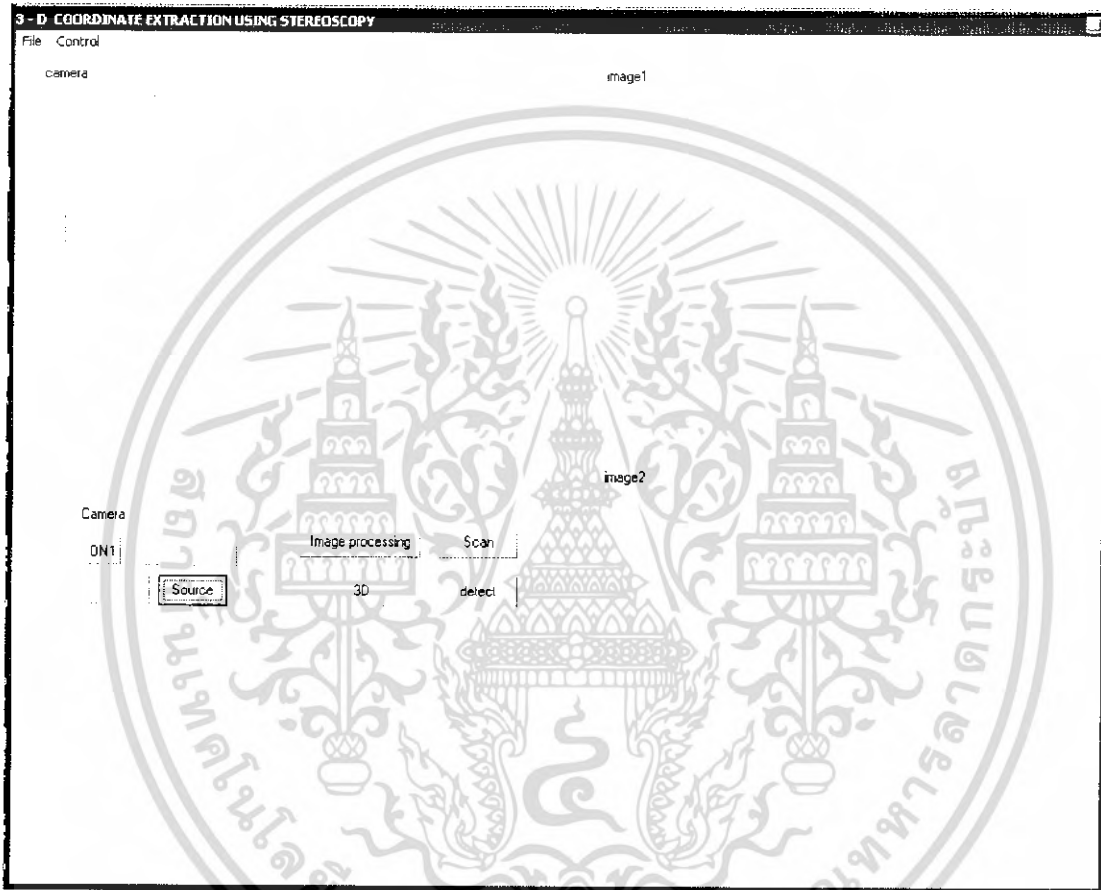
รูปที่ 5.3 ที่ตั้งวัตตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



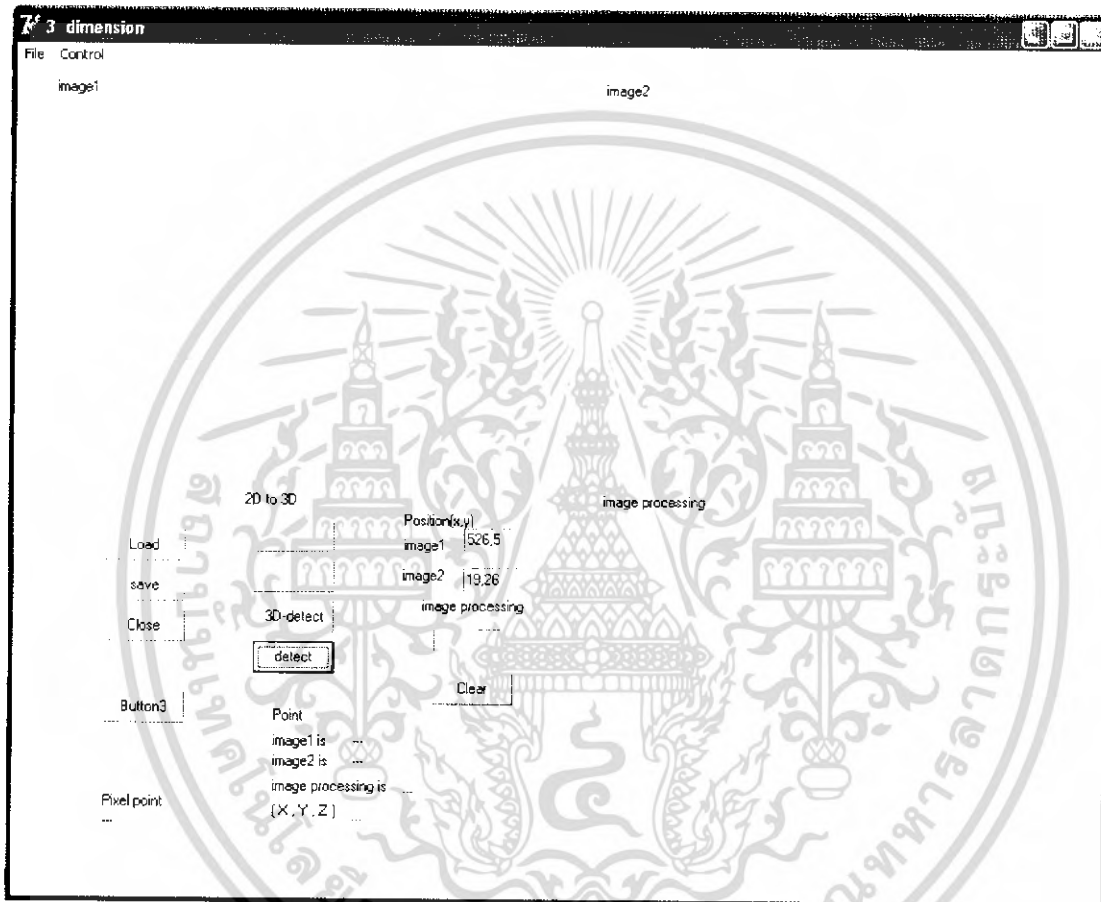
รูปที่ 5.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ก่อนทำการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



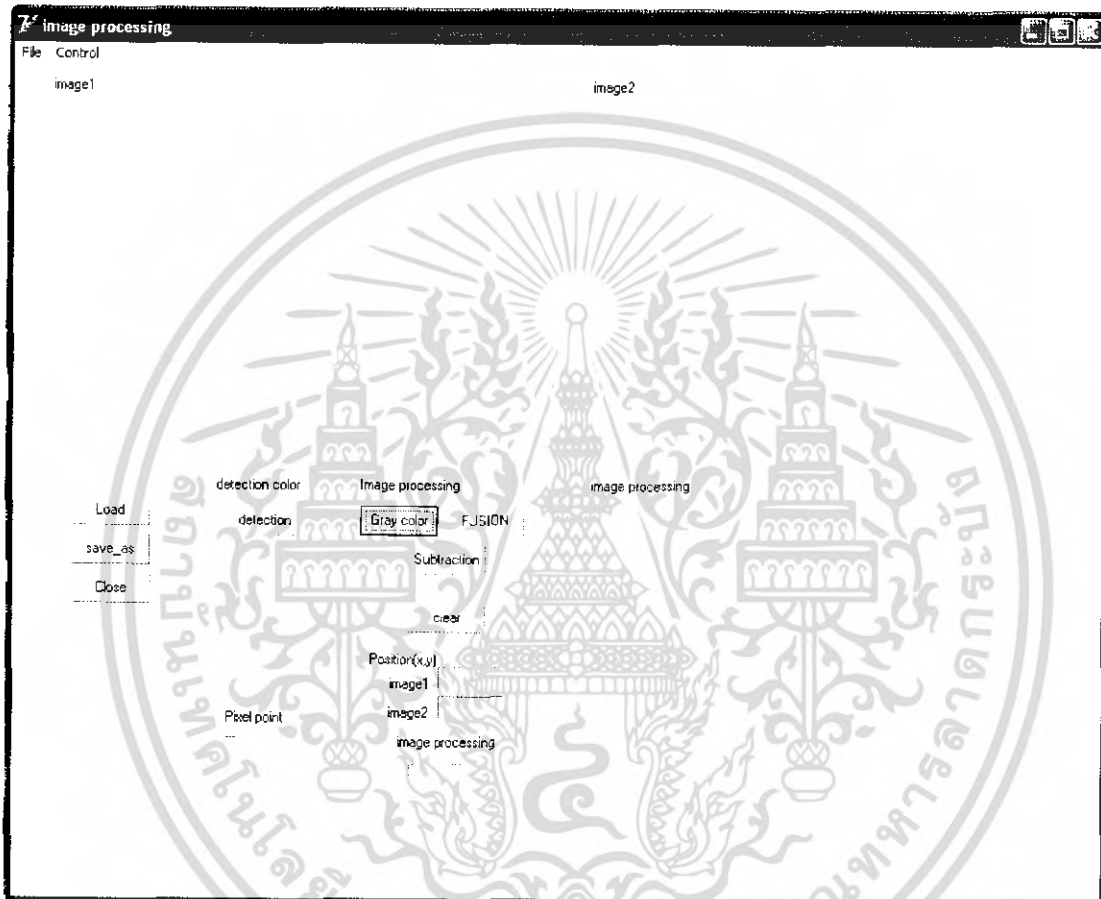
รูปที่ 5.5 หน้าหลักของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 โปรแกรมส่วนของการภาพ 3 มิติแบบโครงร่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 โปรแกรมส่วนของ image processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดลองที่ 2 หาจุดและตัวแทนของสี่ที่ตรวจจับ

วิธีการทดลอง

1. เลือกสี่ที่ต้องการตรวจจับโดยคลิกที่รูปที่ต้องการแล้วให้ทำโปรแกรมมาประมวล โดยเราทำการตรวจจับสี่ทั้งสองรูปทั้งภาพซ้ายและภาพขวา
2. ให้โปรแกรมประมวลผลของจุดที่เช็คได้จากสองภาพมาทำการหาค่า x,y,z พร้อมกับแสดงจุดที่ x,y,z นั้น



รูปที่ 5.8 ทำการหาตัวแทนจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดลองที่3 ทำการสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้วัตถุลักษณะต่างกัน

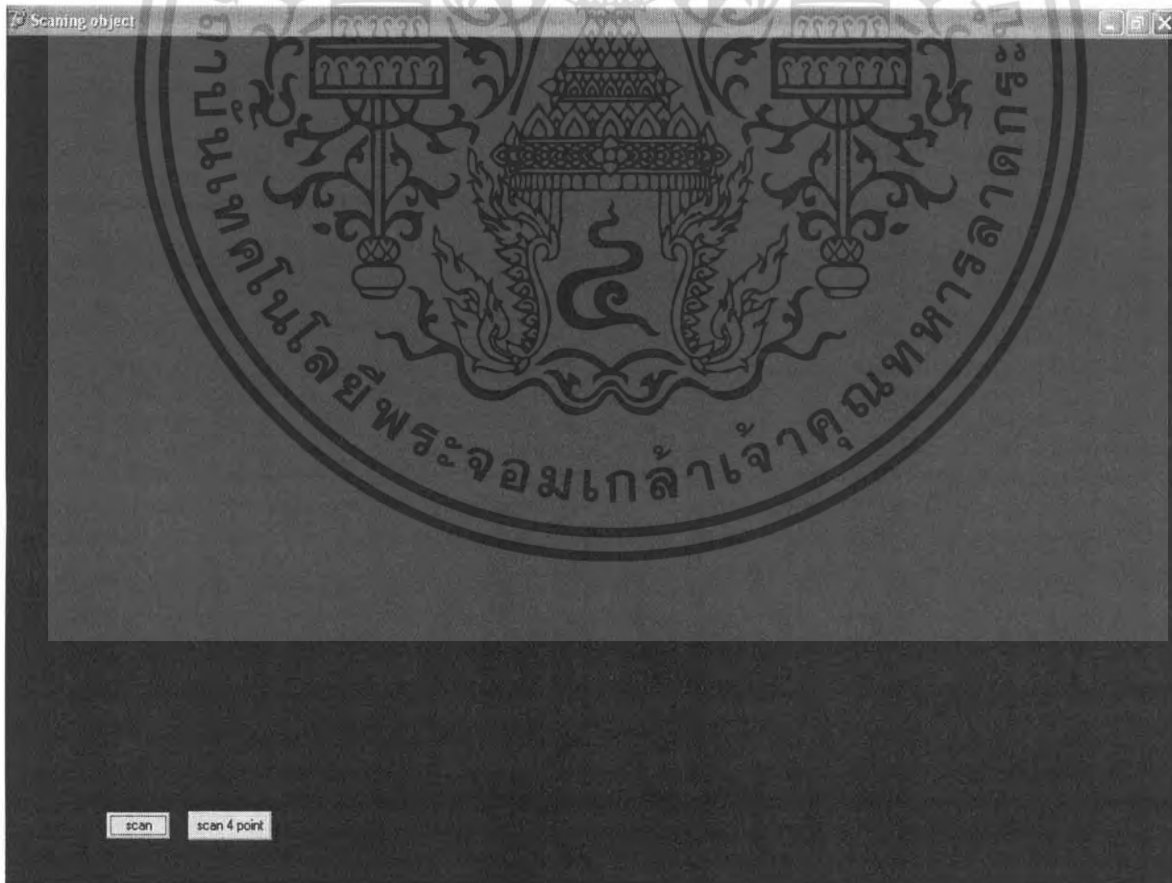
วิธีการทดลอง

1. ทำการถ่ายภาพวัตถุต่างลักษณะต่างชนิดกัน 3 วัตถุ คือ ก่องสี่เหลี่ยม, ก่องหกเหลี่ยม, สามเหลี่ยม
2. ดูว่าสามารถสร้างภาพ 3 มิติ ของวัตถุทั้ง 3 ชนิดได้หรือไม่

5.4 การทดลองที่4 ทำการสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้ตรวจจับที่ฉายจากโปรเจคเตอร์

วิธีการทดลอง

1. ทำการเก็บภาพจากการโปรเจกจุดจากโปรเจคเตอร์ทั้งภาพ
2. นำภาพที่เก็บบันทึกไว้ไปตรวจจับและคำนวณหาค่า x, y, z ของ 3 มิติ
3. นำค่า x, y, z ของ 3 มิติ สร้างภาพที่โปรแกรม Matlab
4. ทำการทดลองเหมือนเดิมแต่ตรวจจับพร้อมกัน 4 จุด



รูปที่ 5.9 ส่วนโปรแกรม 3 มิติในการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



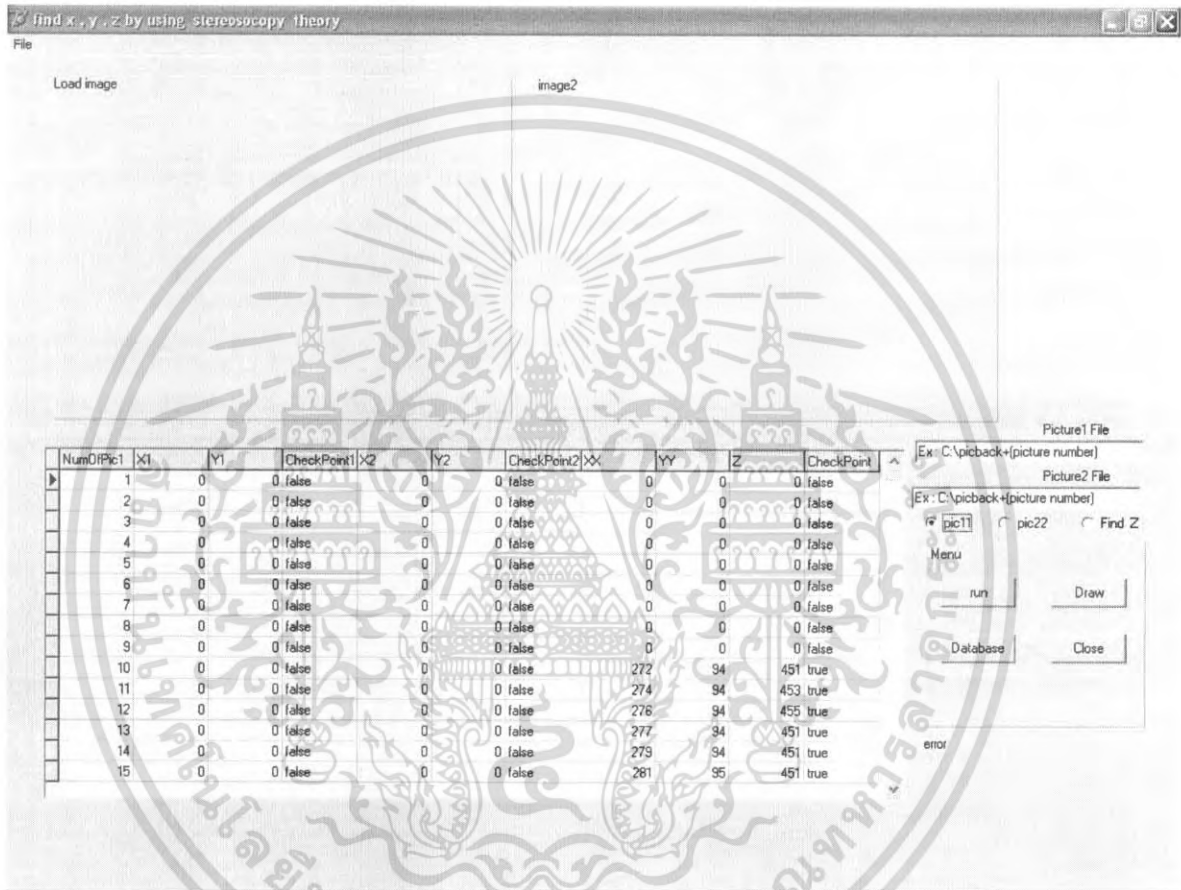
รูปที่ 5.10 ขั้นตอนการ scan วัตถุในการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ชั้นตอนการ scan วัตถุนิการทดลองที่ 4 พร้อมกัน 4 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 โปรแกรมส่วนของการตรวจจับและคำนวณหาค่า x, y, z ของภาพ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



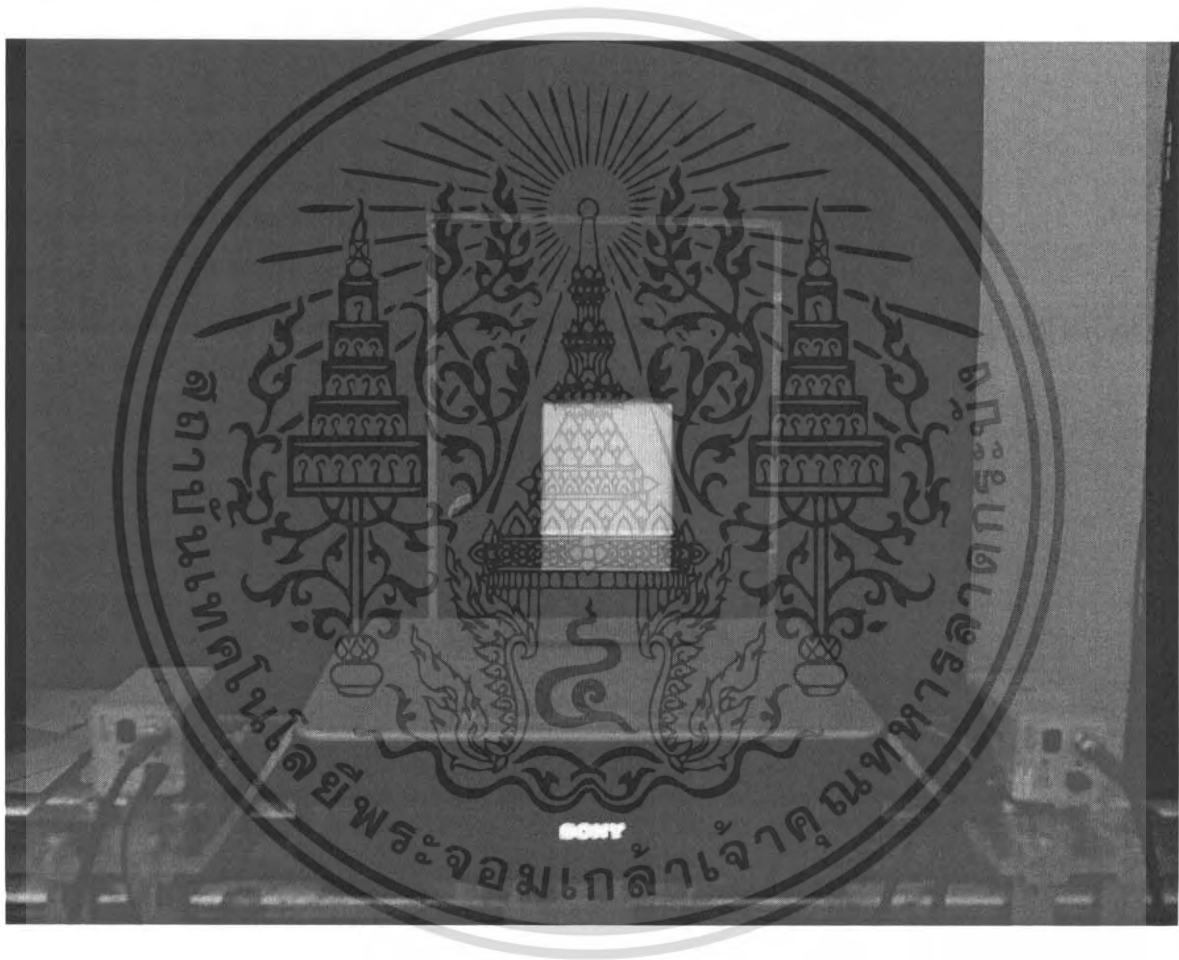
รูปที่ 5.13 วัดอุทมนต์หน้าคนด้านหน้าในการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 วัตถุประสงค์ด้านหลังในการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



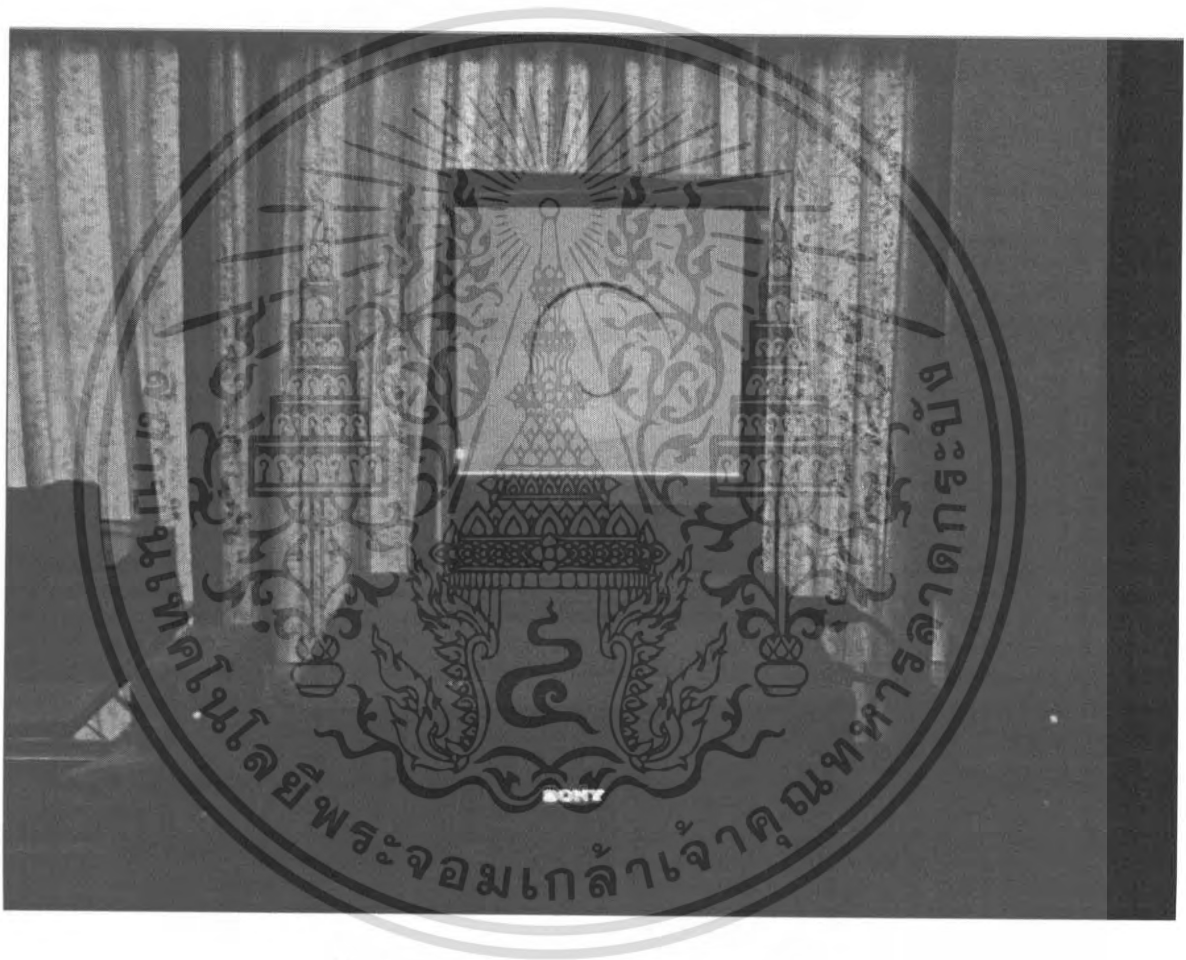
รูปที่ 5.15 ก่องสี่เหลี่ยมในการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 ลูกบอลในการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

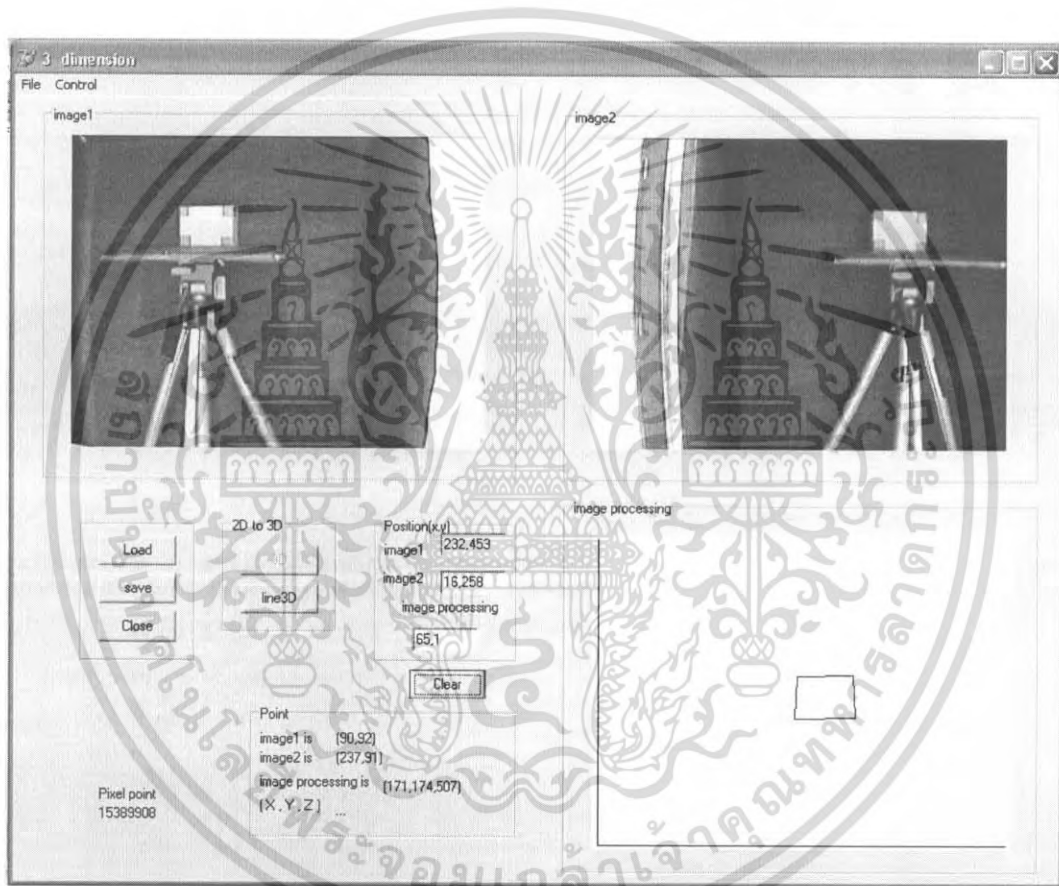


รูปที่ 5.17 วัตถุที่เป็นรูปโค้นทในการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

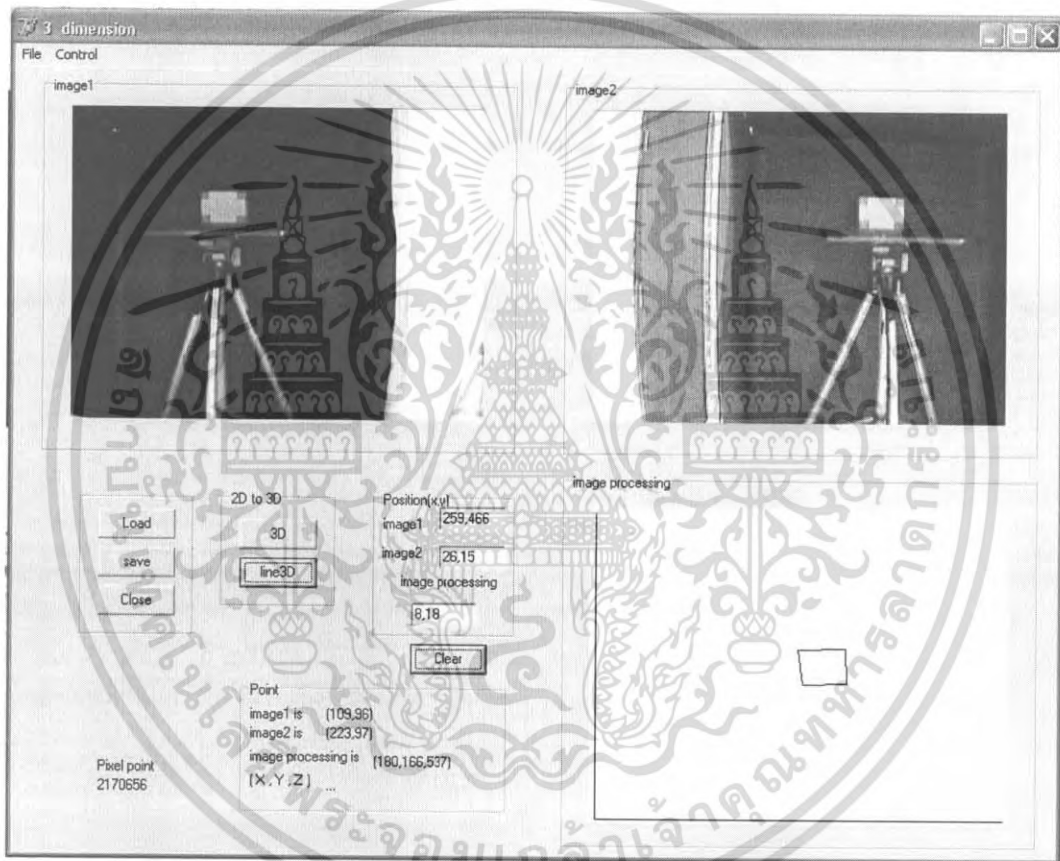
5.5 ผลการทดลอง

5.5.1 ผลการทดลอง การสร้างภาพ 3 มิติ



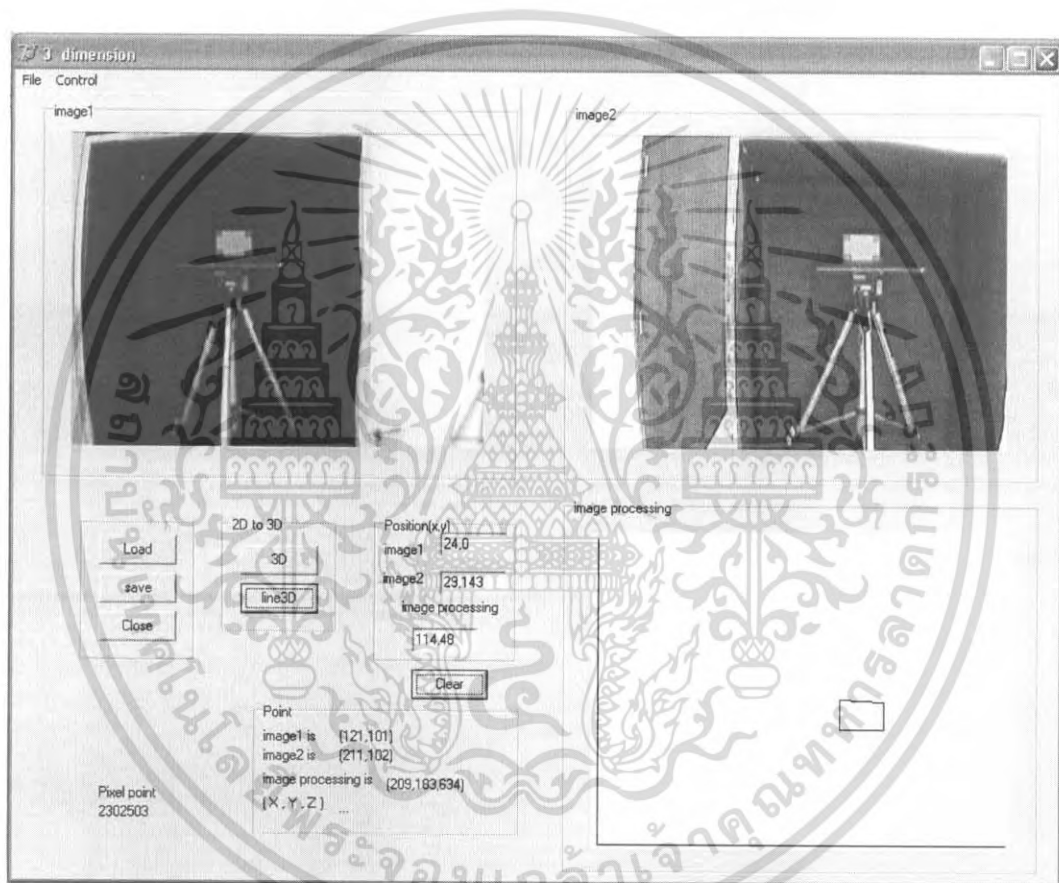
รูปที่ 5.18 รูป 3 มิติ ของกล้องสี่เหลี่ยมของระยะ $z = 80$ เซนติเมตร (กล้อง ccv)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



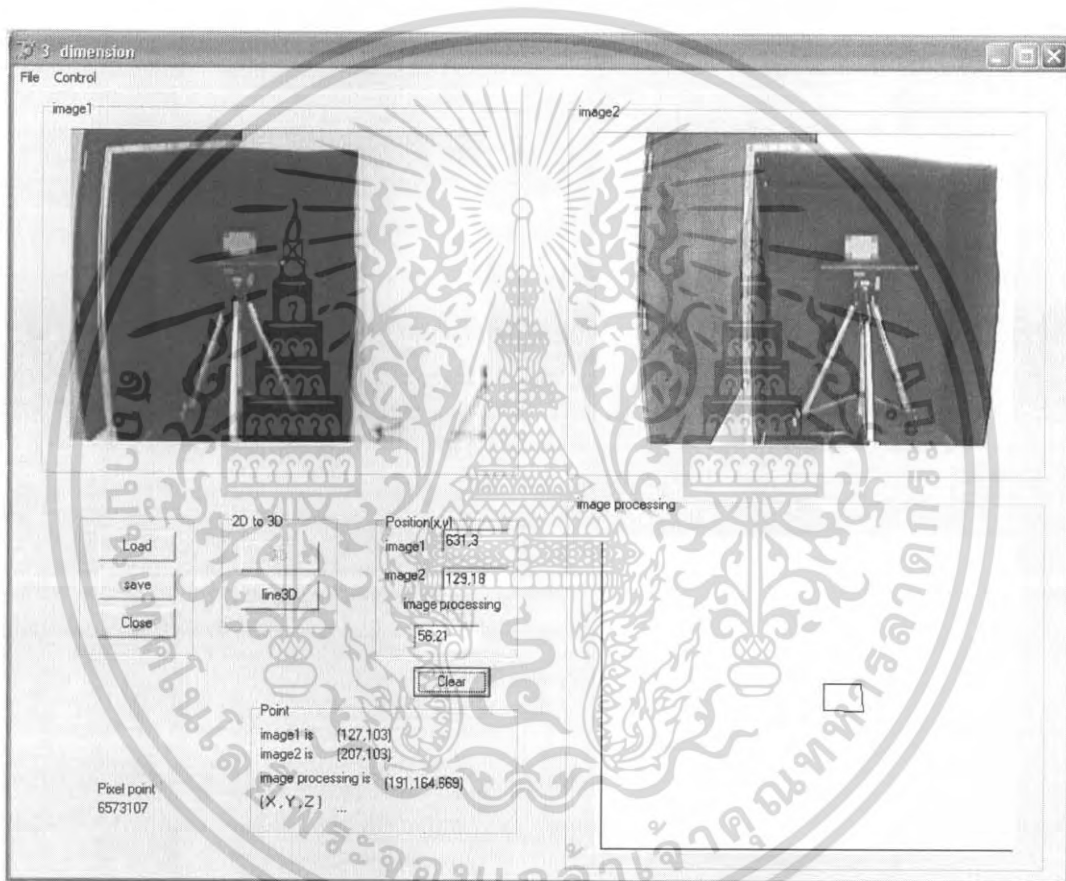
รูปที่ 5.19 รูป 3 มิติ ของกล้องตีเหลี่ยมของระยะ $z = 100$ เซนติเมตร (กล้อง ccv)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 รูป 3 มิติ ของกล้องที่เหลี่ยมของระยะ $z = 120$ เซนติเมตร (กล้อง ccv)

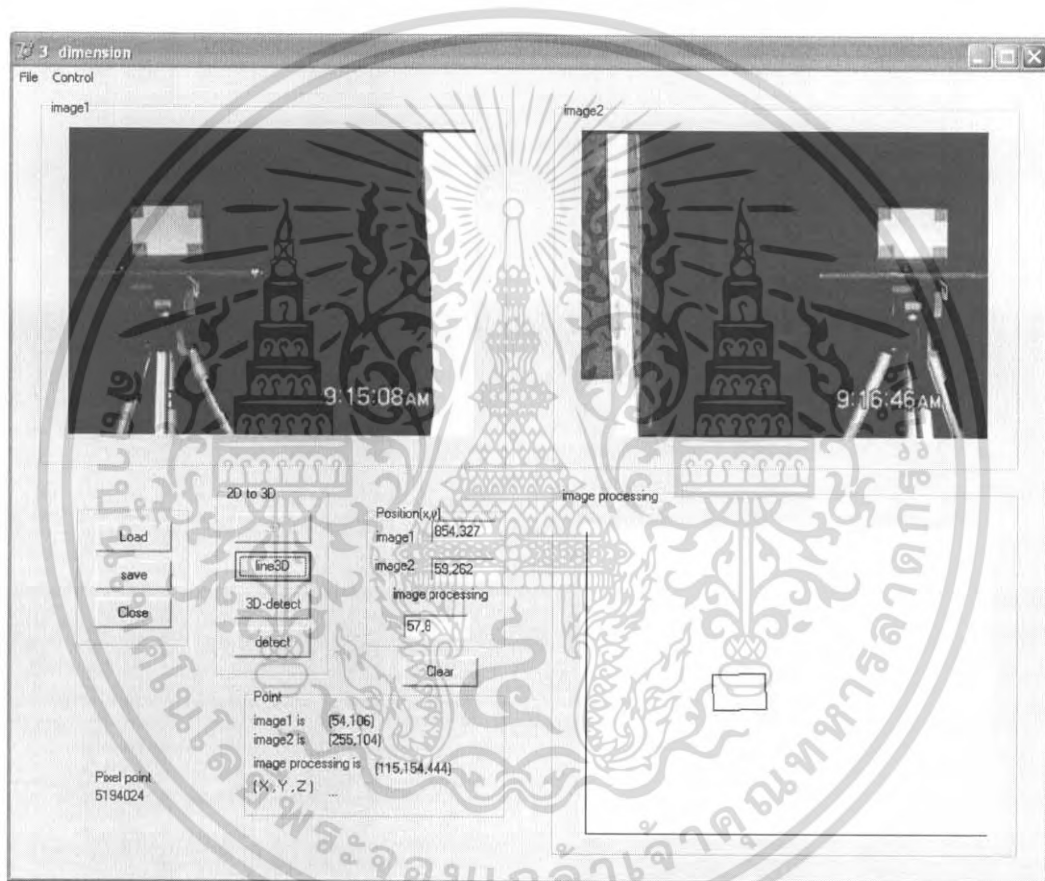
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 รูป 3 มิติ ของกล้องตีเหลี่ยมของระยะ $z = 140$ เซนติเมตร (กล้อง ccv)

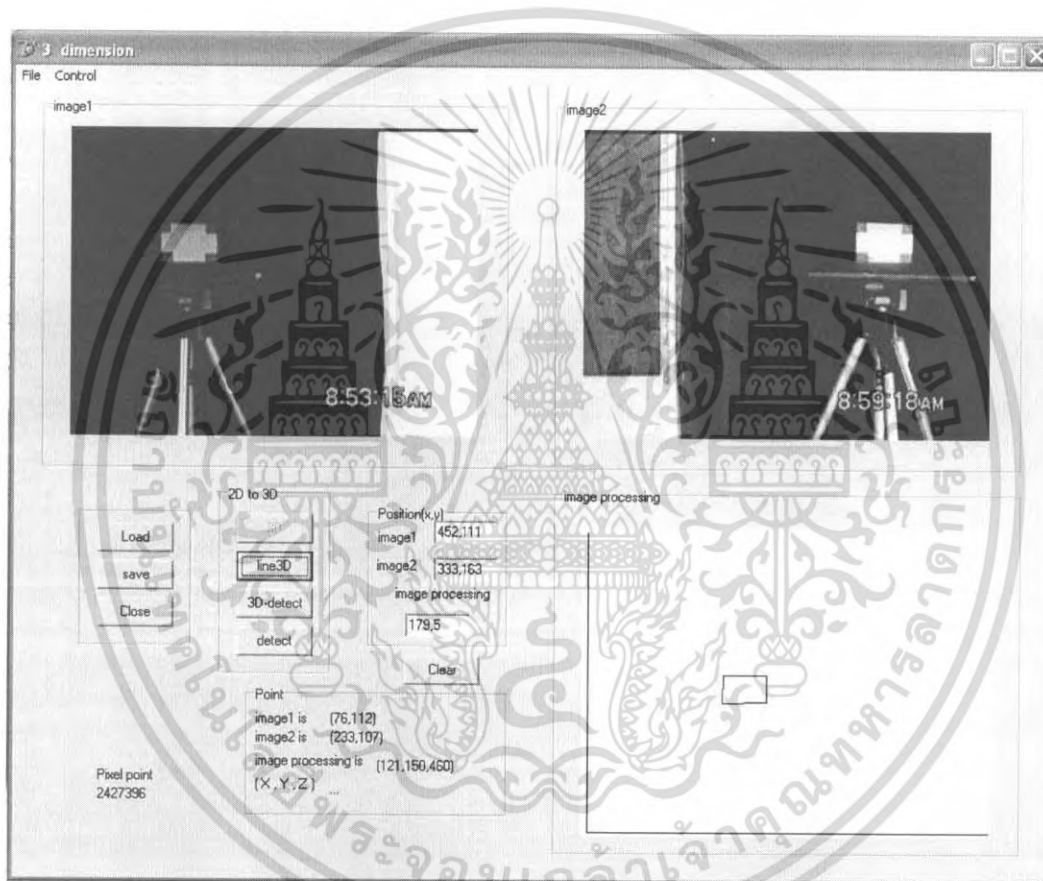
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการทดลอง ของ sony



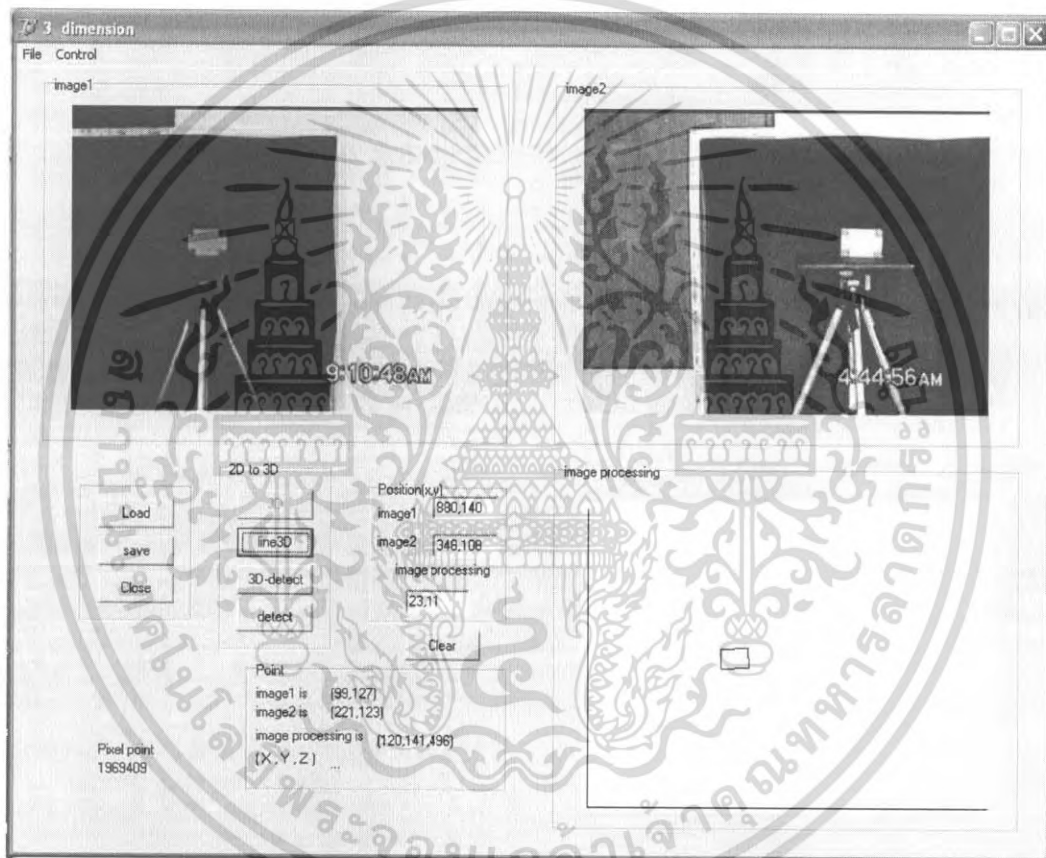
รูปที่ 5.22 รูป 3 มิติ ของกล้องสีเหลี่ยมของระยะ $z = 80$ เซนติเมตร (กล้อง sony)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



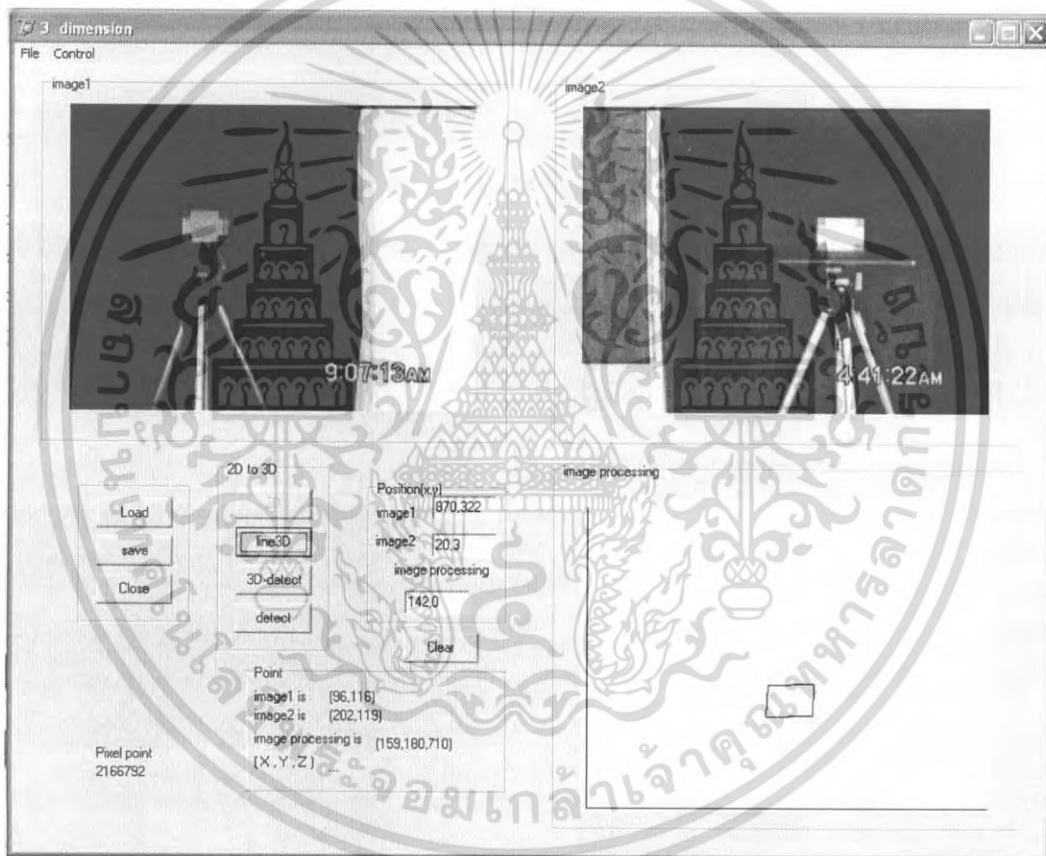
รูปที่ 5.23 รูป 3 มิติ ของกล้องดีเอชเอ็มของระยะ $z = 100$ เซนติเมตร (กล้อง sony)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 รูป 3 มิติ ของกล้องเดี่ยวระยะ $z = 120$ เซนติเมตร (กล้อง sony)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 รูป 3 มิติ ของกล้องดีเอชเอ็มของระยะ $z = 120$ เซนติเมตร (กล้อง sony)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองค่า Z ของกล้อง CCV และ SONY

กล้อง ccv

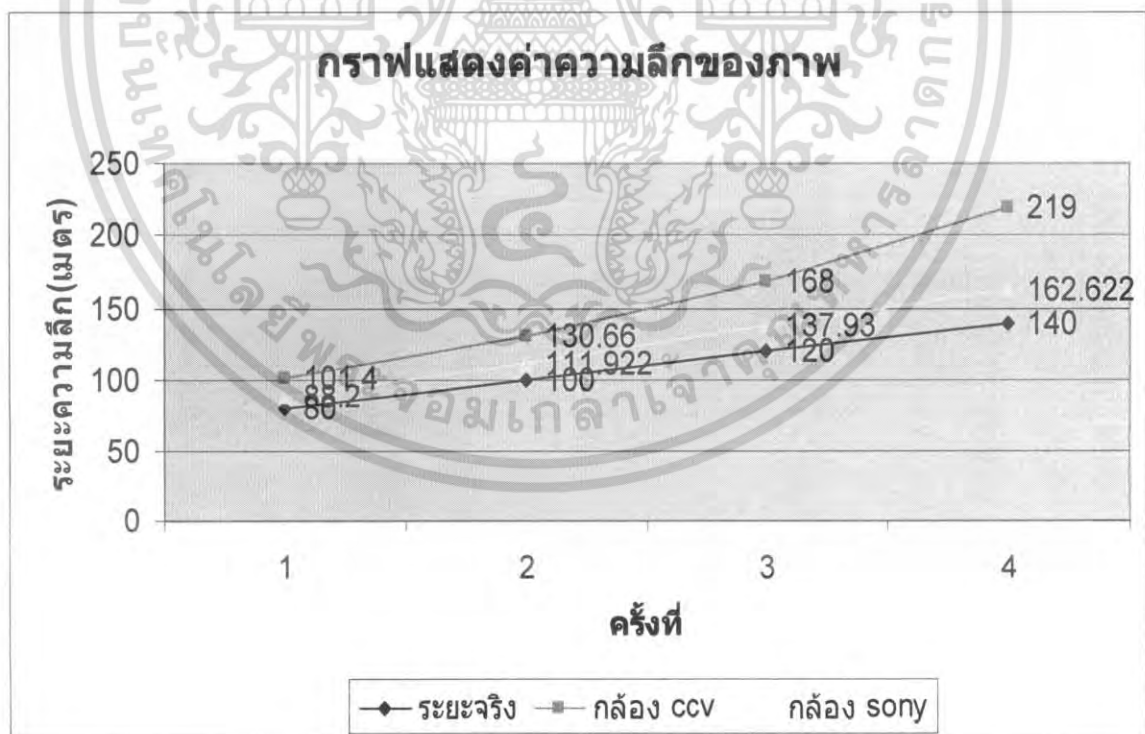
ระยะจากกรวัด	ระยะจากการทดลอง(PIXEL)	ระยะจากการทดลอง (cm.)	อัตราส่วน PIXEL/cm.	%error
80	507	101.4	5	26.75
100	537	130.66	4.11	30.66
120	637	168	3.77	40
140	669	219	3.05	56.4285714

ตารางที่ 1 ตารางผลการทดลองค่า Z ของกล้อง CCV

กล้อง sony

ระยะจากกรวัด	ระยะจากการทดลอง(PIXEL)	ระยะจากการทดลอง (cm.)	อัตราส่วน PIXEL/cm.	%error
80	441	88.2	5	10.25
100	460	111.9221411	4.11	11.9221411
120	520	137.9310345	3.77	14.9425287
140	496	162.6229508	3.05	16.1592506

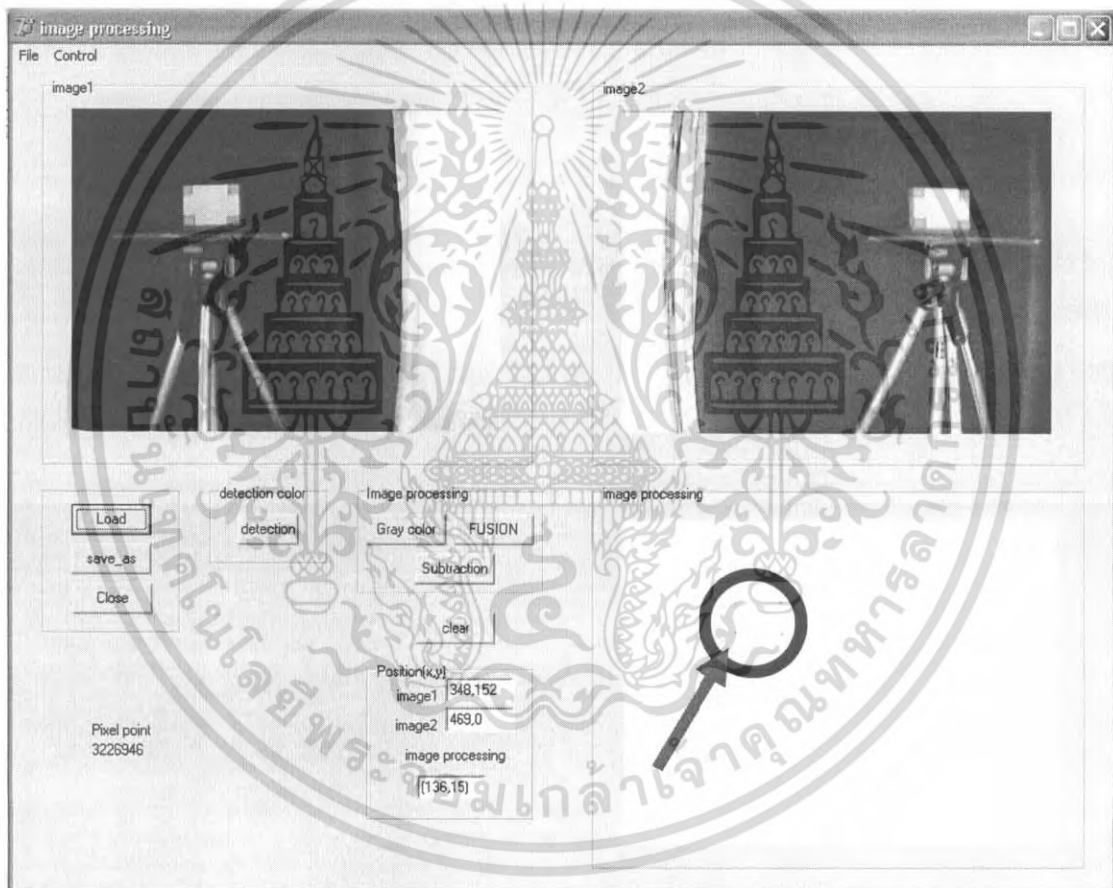
ตารางที่ 2 ตารางผลการทดลองค่า Z ของกล้อง SONY



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงค่าความลึกของภาพ

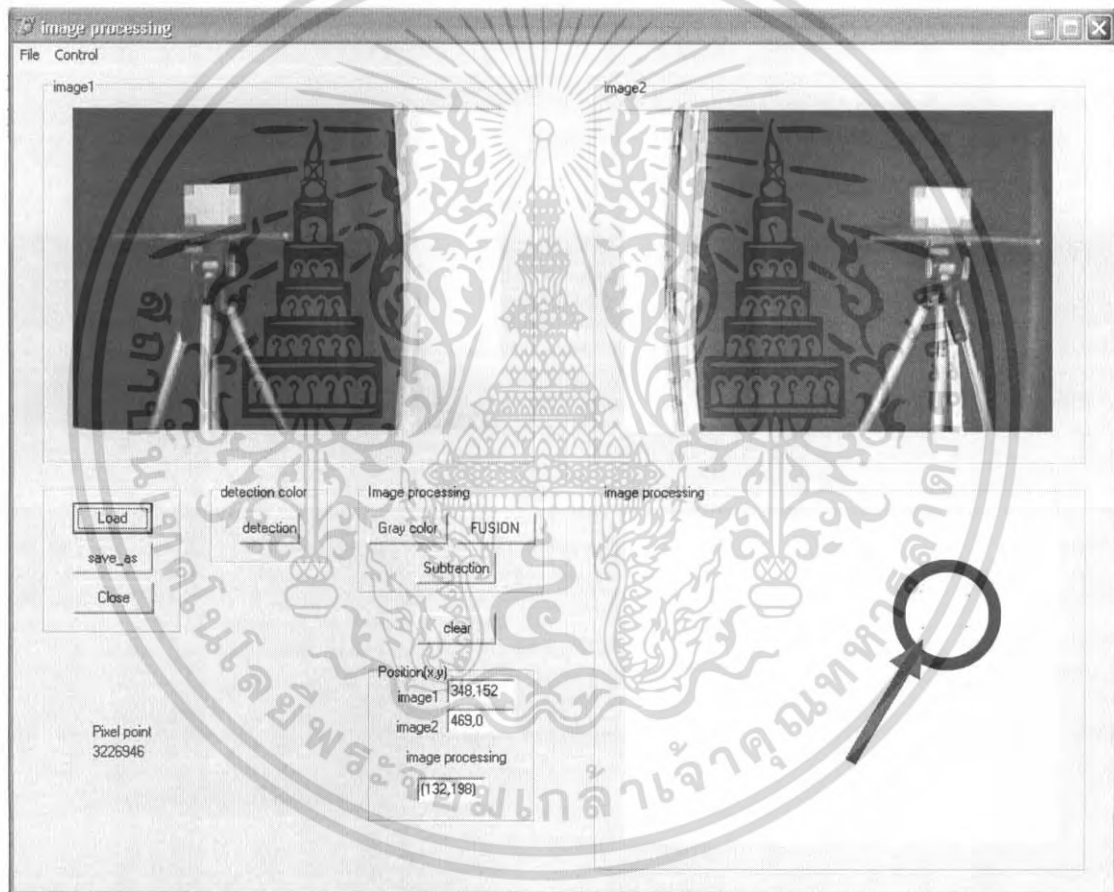
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 ผลการทดลอง การหาจุดและตัวแทนของสีที่ตรวจจับ



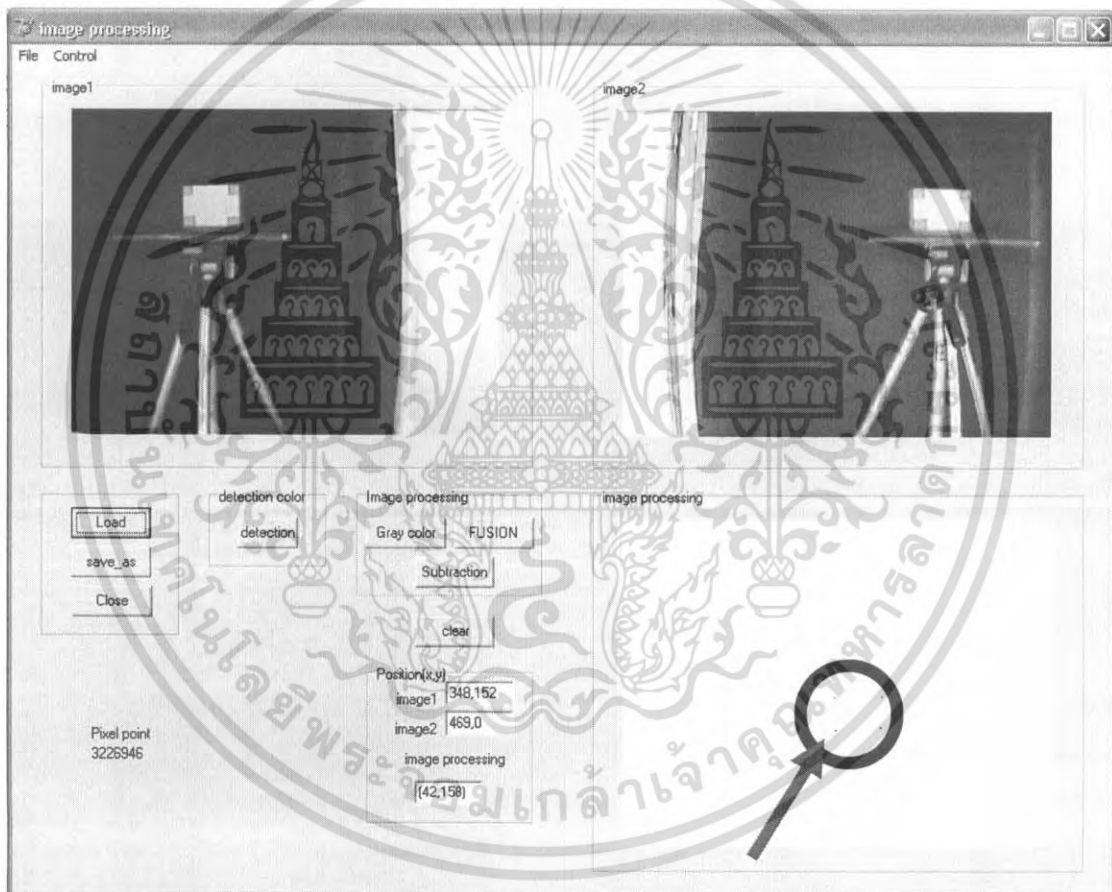
รูปที่ 5.27 ตรวจจับสีที่รูปถ่ายที่ระยะ 80 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 ตรวจสอบสีที่รูปภาพที่ระยะ 80 เซนติเมตร

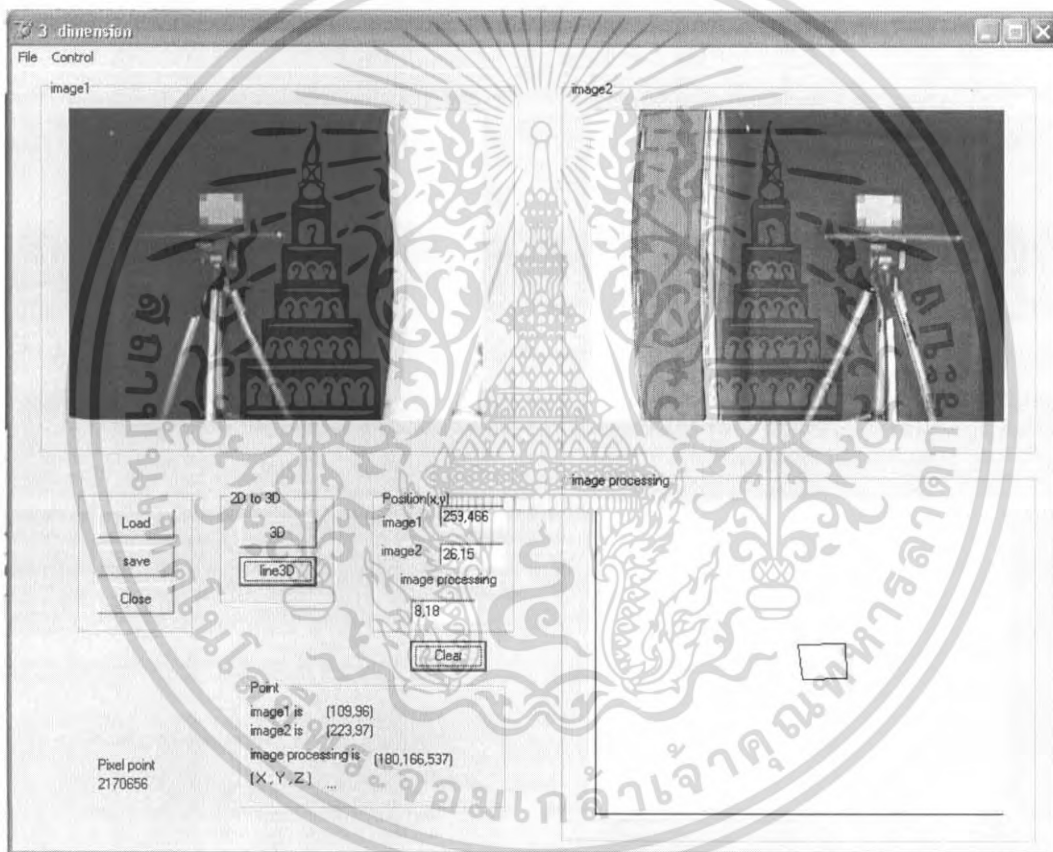
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.29 ทำ 3D ที่ระยะ 80 เซนติเมตร

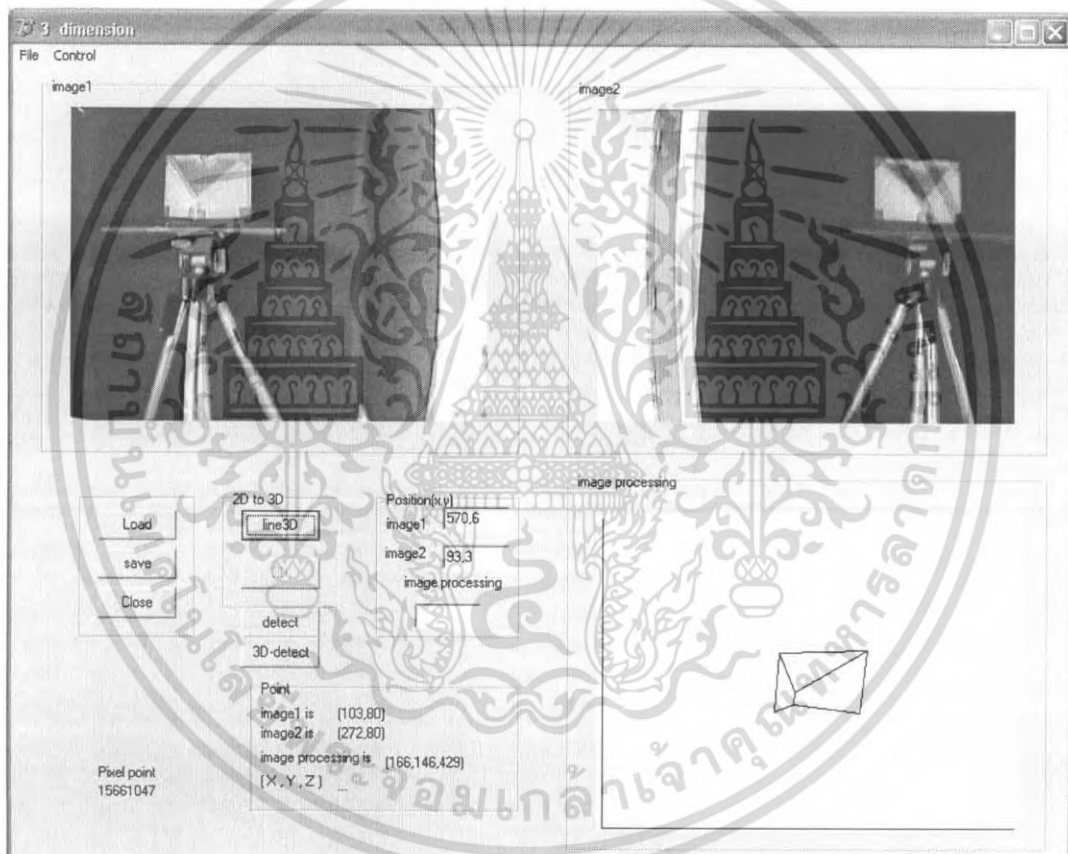
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3 ผลการทดลอง ทำการสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้วัตถุลักษณะต่างกัน



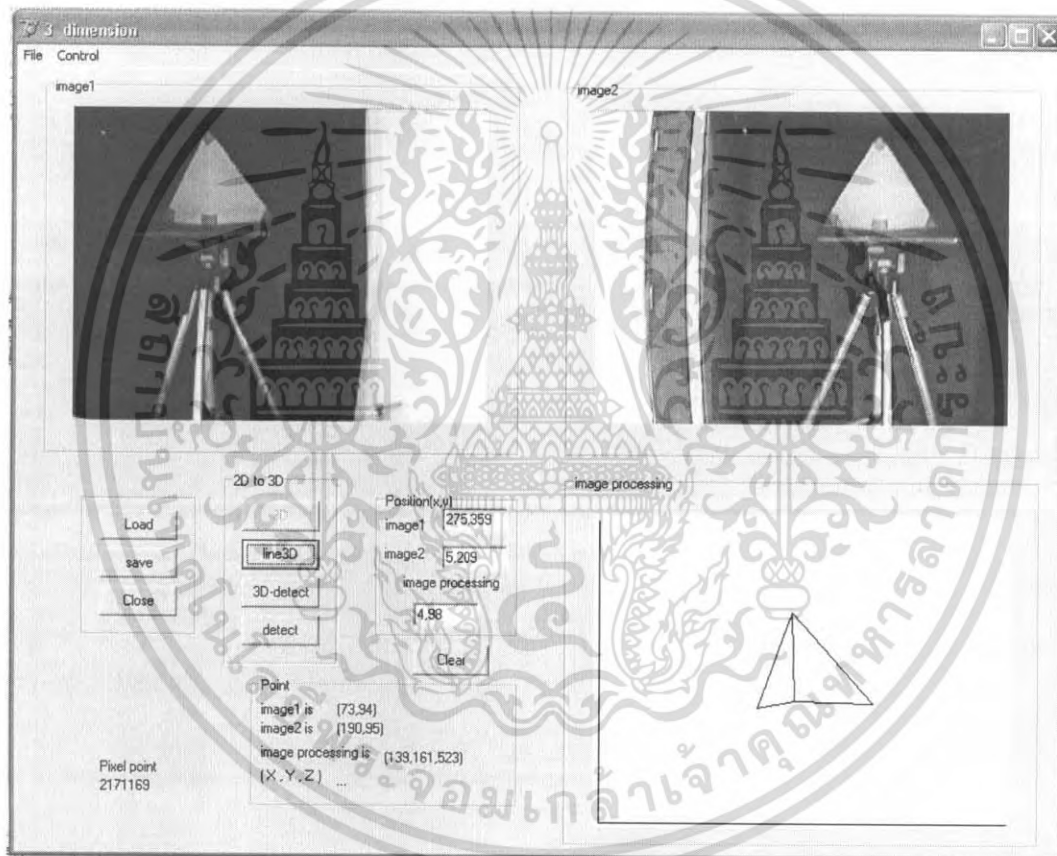
รูปที่ 5.30 กล้องสี่เหลี่ยม $z = 80$ cm. (กล้อง ccv)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.31 กล้องหกเหลี่ยม $z = 100$ cm. (กล้อง ccv)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.32 ตามเหลี่ยม $z = 100$ cm. (กล้อง ccv)

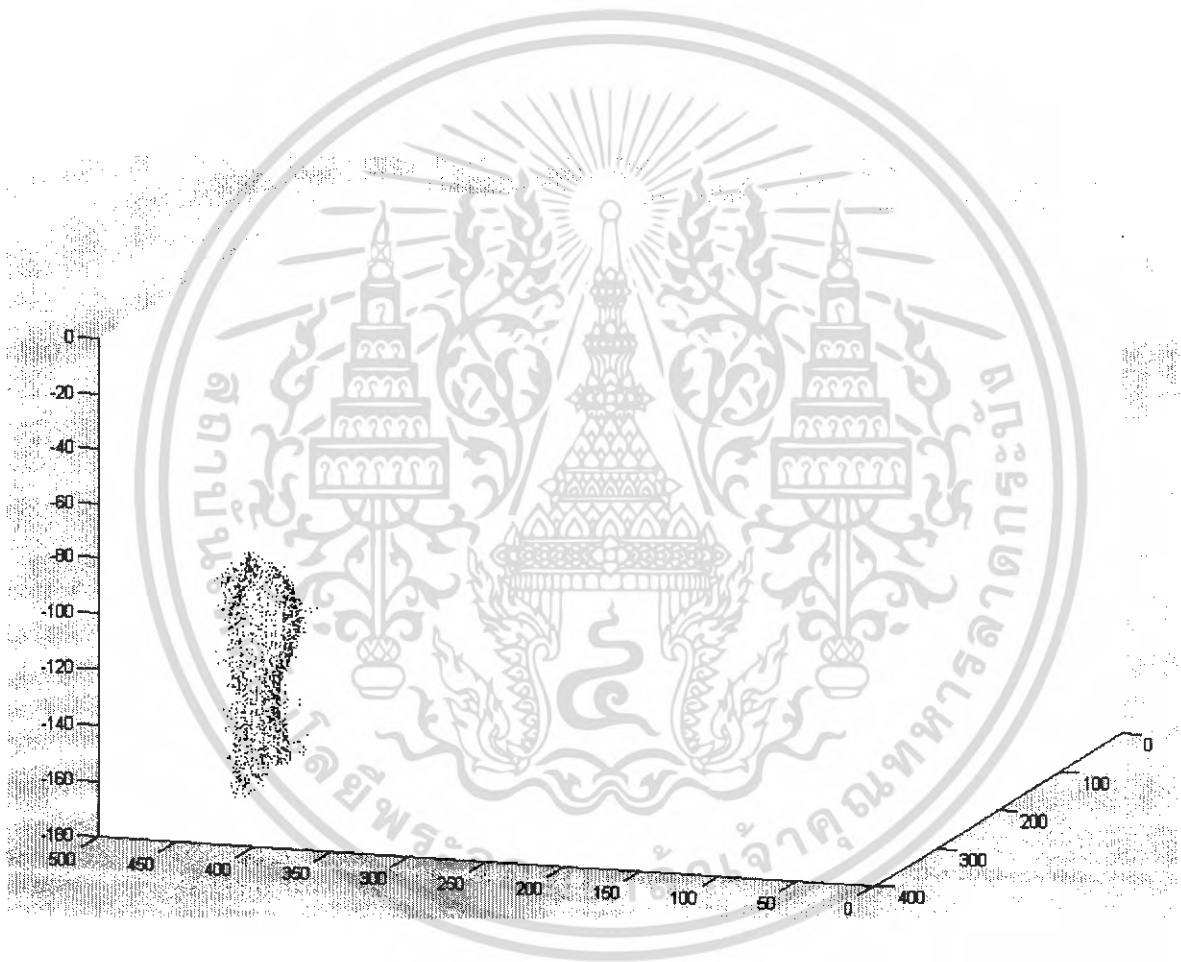
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4 ผลการทดลอง ทำการสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้เครื่องจับสัที่ฉายจากโปรเจคเตอร์



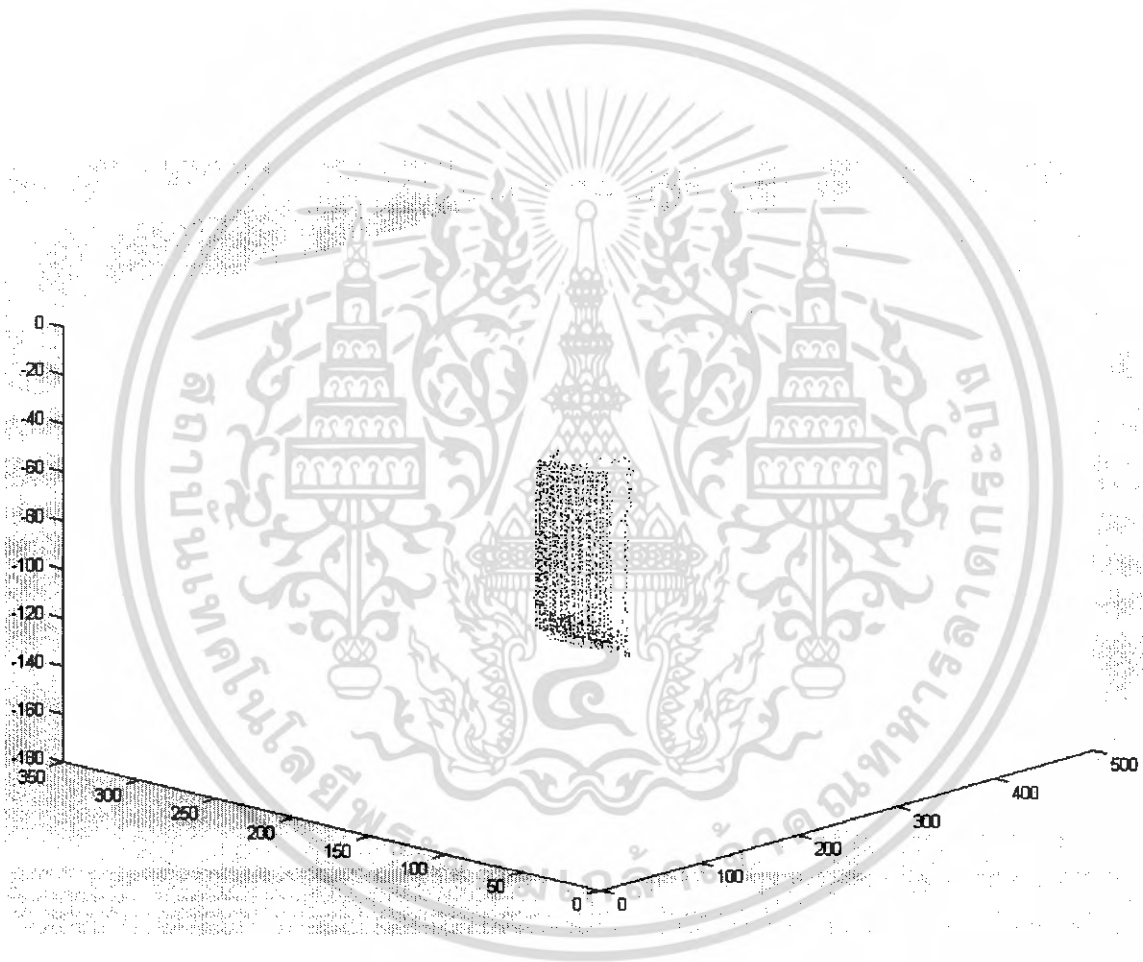
รูปที่ 5.33 ภาพ 3 มิติของวัตถุเป็นหน้าคนด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.34 ภาพ 3 มิติของวัดถูกเป็นหน้าคนด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



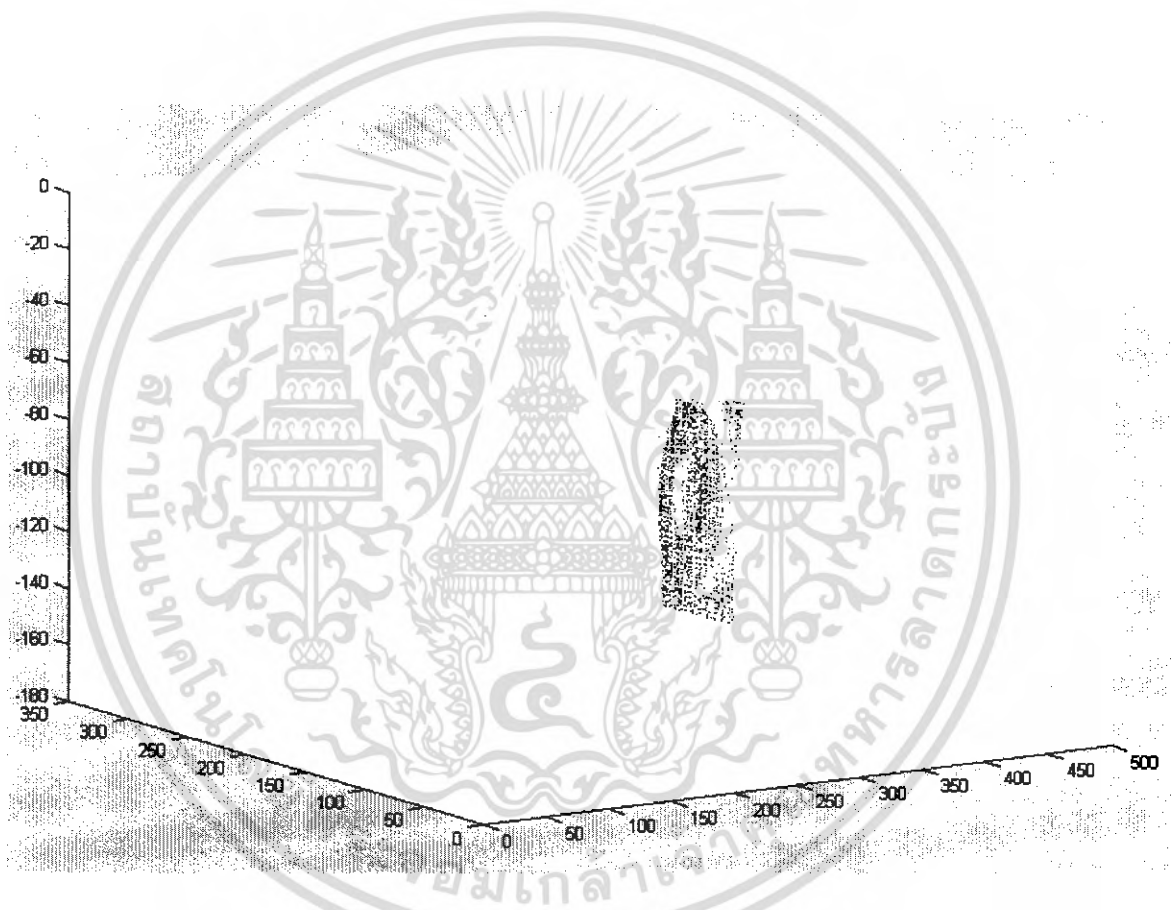
รูปที่ 5.35 ภาพ 3 มิติของวัดดุกคองดีเยี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



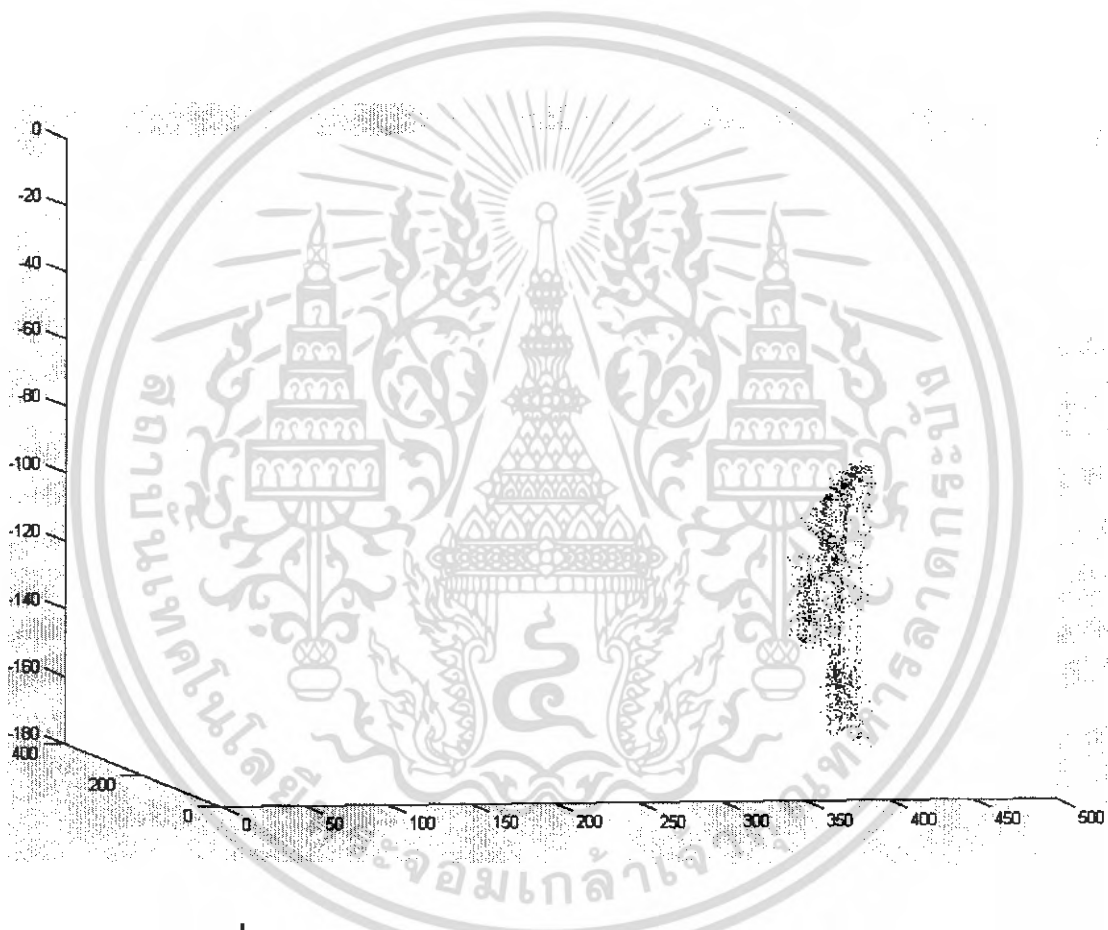
รูปที่ 5.36 ภาพ 3 มิติของวัดจุฬามณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.37 ภาพ 3 มิติของวัดดูโคมันท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.38 ภาพ 3 มิติ หน้าคนของการตรวจจับค่าสี่พร้อมกัน 4 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลและวิจารณ์

สรุปผลและวิจารณ์

ในโครงการนี้มีการทดลองทั้งหมดอยู่ 3 การทดลองคือ การทดลองหาค่าความลึกและสร้างภาพจำลอง การทดลองตรวจจับสีและสร้างภาพจำลอง การตรวจจับวัตถุต่างชนิดกันว่าสามารถตรวจจับได้หรือไม่ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การทดลองการสร้างภาพ 3 มิติ และการหาค่าความลึก จะเห็นได้ว่า program มีความสามารถในการหาค่าความลึก (z) และพิกัด x, y ของวัตถุ ณ จุดต่างๆ ได้ และสามารถนำเอาค่าจุดที่คำนวณได้มา plot เพื่อสร้างภาพ 3 มิติได้ จากการนำเอาผลการทดลองหาค่าความลึกไปเขียนกราฟเทียบกับระยะจริง เราจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อน ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะและชนิดของกล้องที่ถ่าย เมื่อระยะของวัตถุ (z) มีค่ามากขึ้นค่าความคลาดเคลื่อนของค่า z ก็จะมีค่าสูงชันตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบค่าระหว่างของ 2 กล้องคือกล้อง ccv และ Sony ในระยะเดียวกันจะเห็นได้ว่า กล้อง Sony จะ ได้ค่าความลึกที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า

2. การทดลองการตรวจจับสีบนวัตถุ จะแสดงให้เห็นว่า Program มีความสามารถในการตรวจจับสีบนวัตถุและหาจะจุดตัวแทนของจุดสีที่ใกล้กันได้ เมื่อนำเอาค่าจุดต่างๆที่ได้จากการตรวจจับ มาคำนวณหาค่าความลึก(z)และพิกัด x,y ของภาพ 3 มิติ และนำเอาค่า x,y ที่ได้มา plot เป็นภาพ 3 มิติได้

3. การทดลองการสร้างภาพ 3 มิติ โดยใช้วัตถุต่างลักษณะ พบว่า Program สามารถสร้างภาพ 3 มิติของวัตถุต่างลักษณะ (ที่เป็นทรงเหลี่ยม) ได้

4. การทดลองนี้ใช้โปรแกรมเมอร์เป็นตัวแทนจุดแล้วทำการตรวจจับและจุดหาพิกัด x,y,z ใน 3 มิติ สามารถสร้างภาพ 3 มิติได้ แต่ยังมีจุดที่ผิดพลาดอยู่ เกิดจากการตรวจจับสีที่ผิดพลาดจากกล้องมีคุณภาพไม่ค่อยดี แต่สามารถทำการแก้ไขได้โดยทำฟิลเตอร์กำจัดจุดที่ผิดพลาดออกได้

บรรณานุกรม

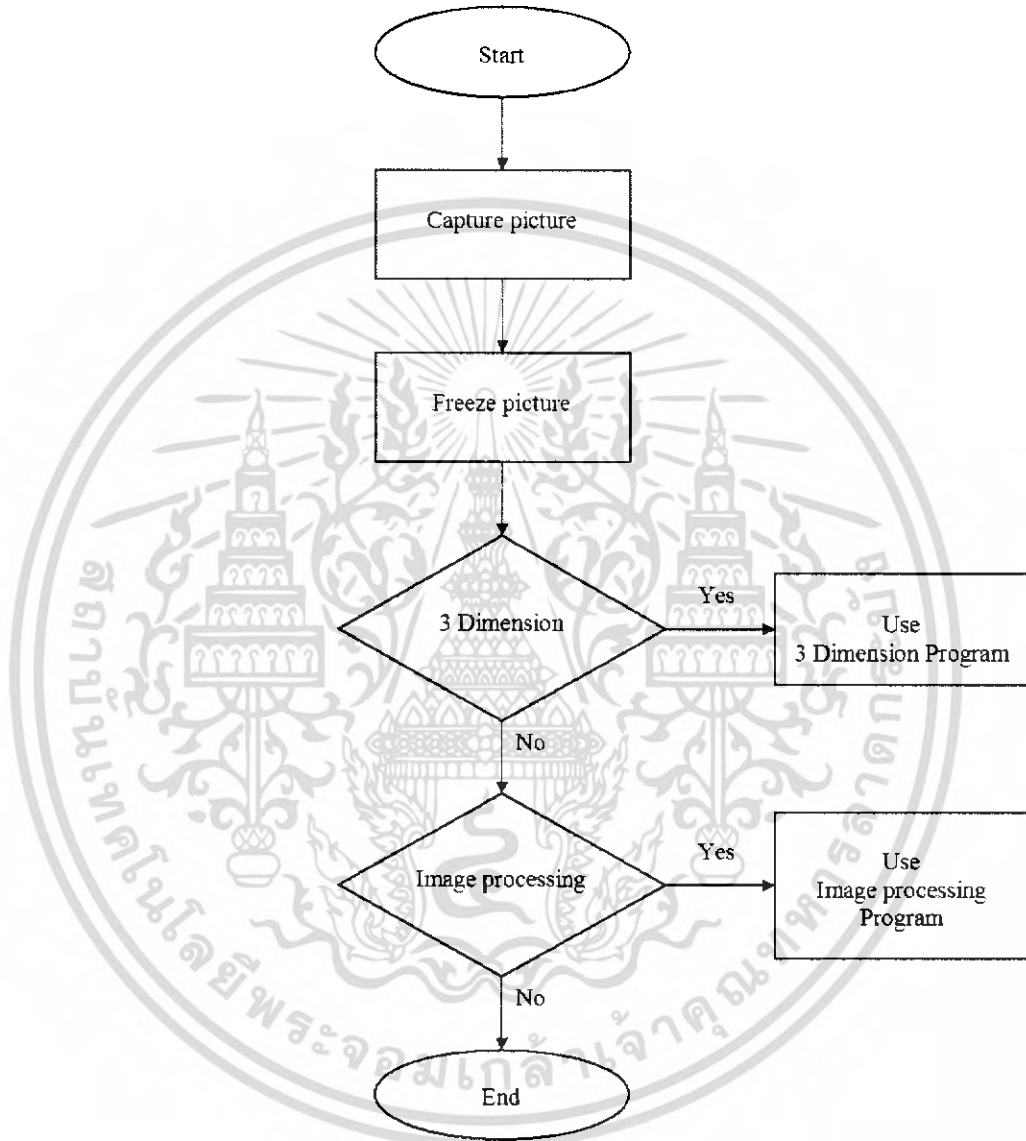
1. Alan Watt, “ 3D Computer Graphic “ Addison-Wesley, 1994
2. Linda Shapiro & George Stockman , “ Computer Vision “, Prentic Hall , 2001
3. Jain Kasturi & Schunk, “ Machine Vision “, McGraw Hill , 1995
4. เอกสารประกอบการเรียนวิชา Digital Image Processing โดย ผศ.ดร. ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์



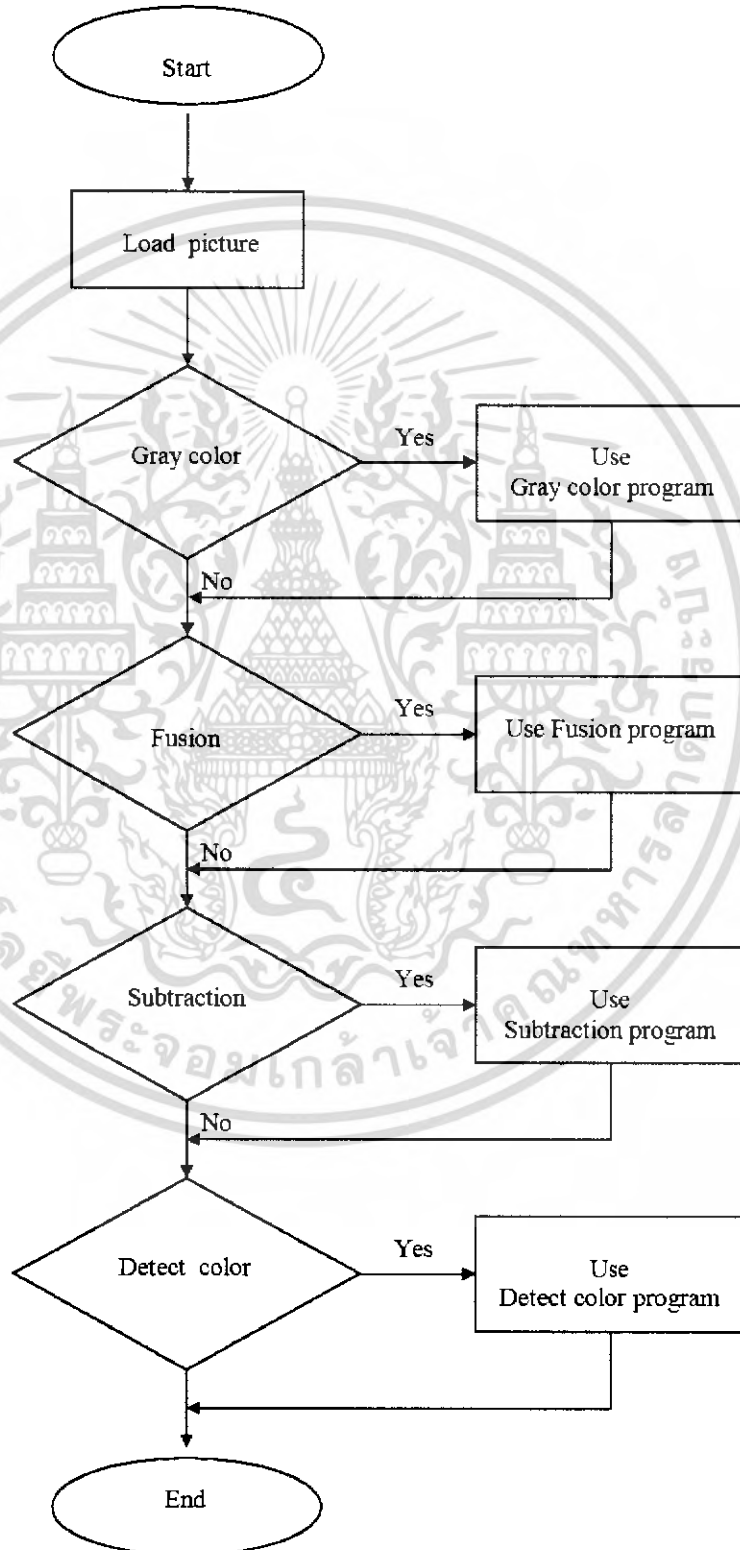
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



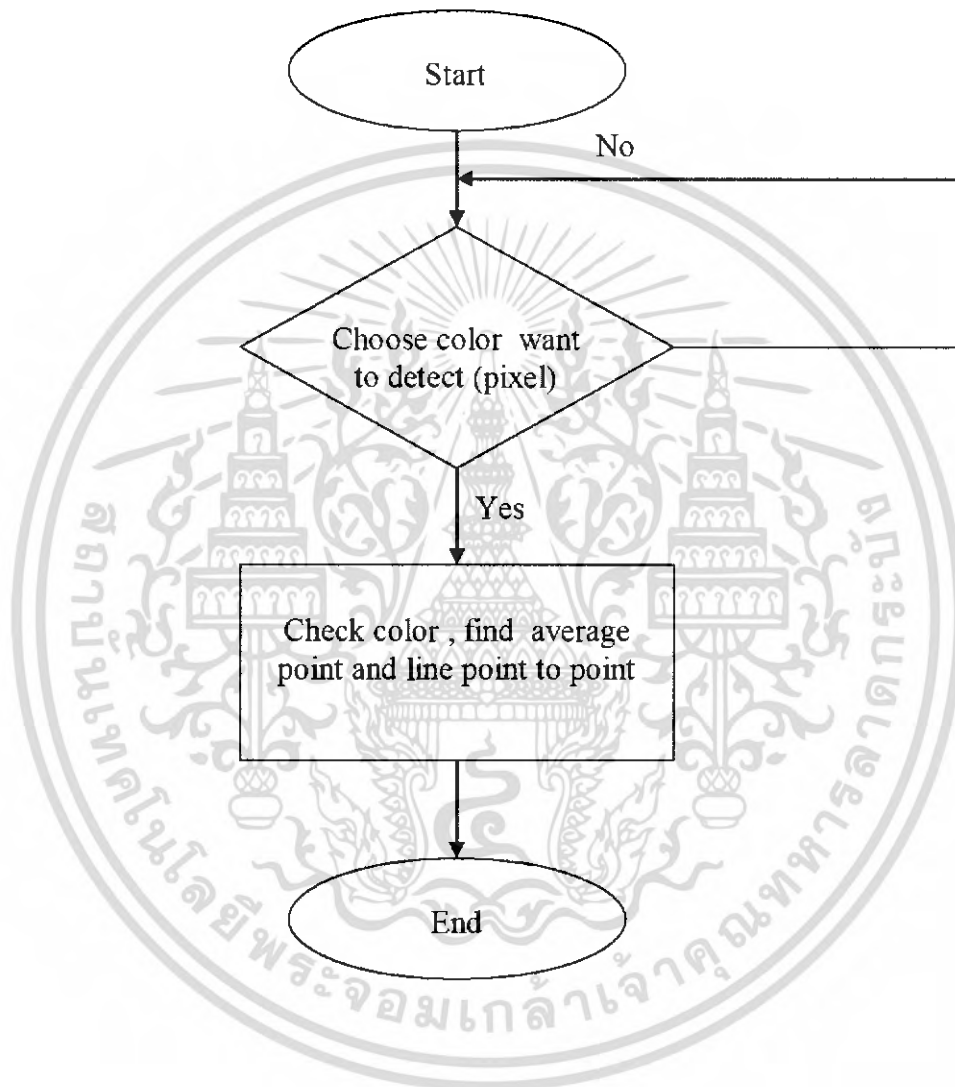
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow Chart Program**main**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

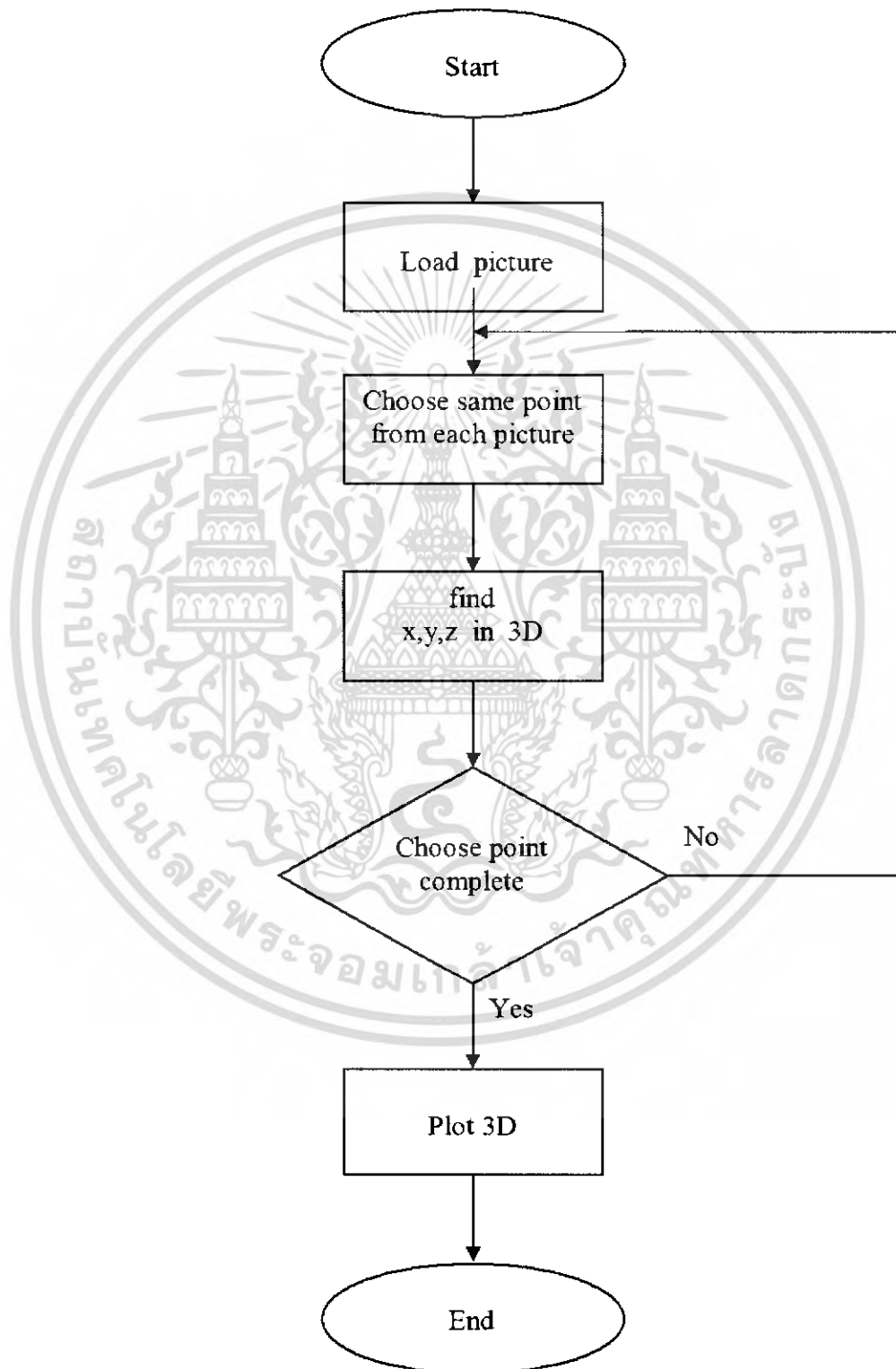
Image Processing program(subprogram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

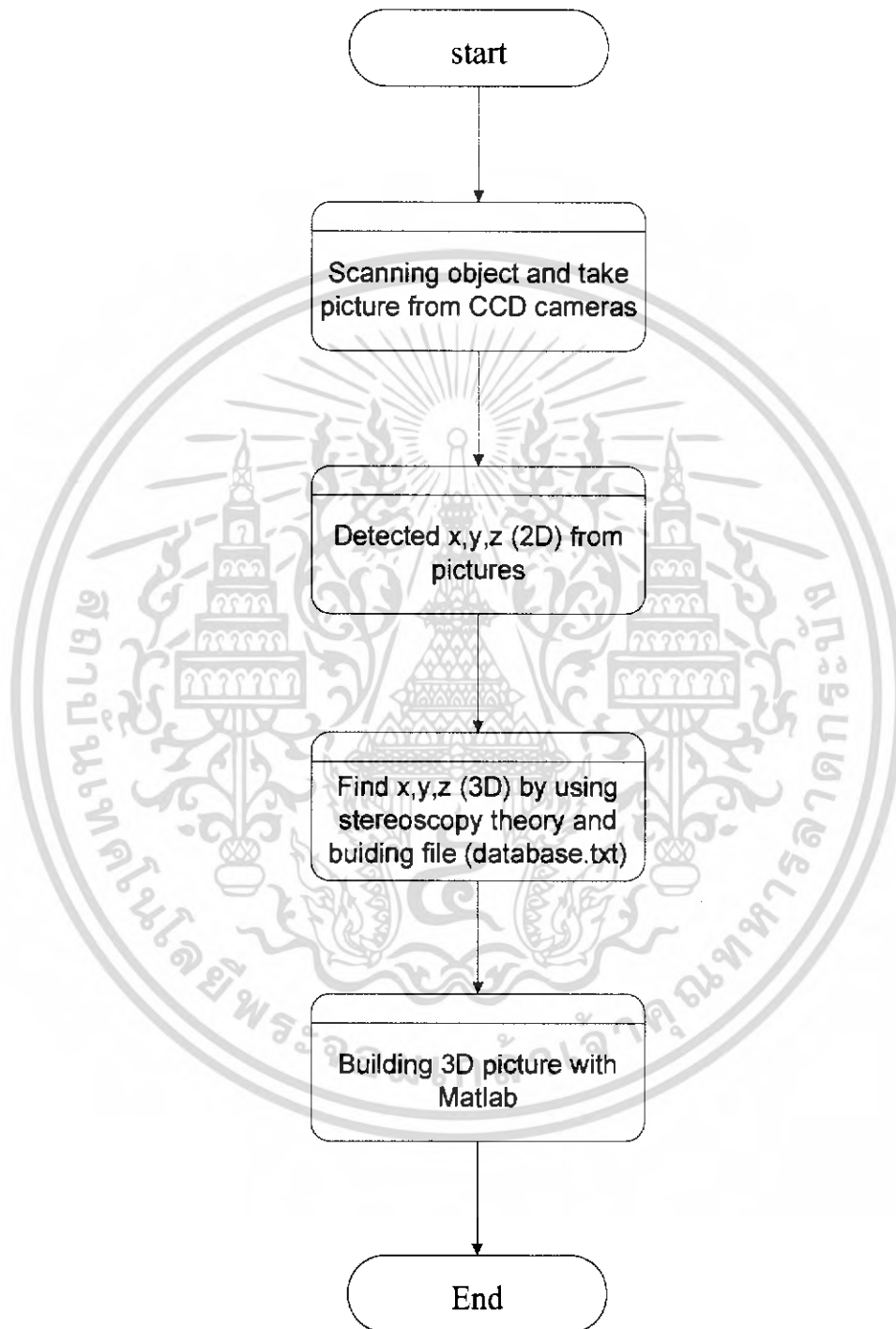
Detect color program (subprogram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 Dimension program(subprogram)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detecting and finding x,y,z in 3D Program by using Projector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Datasheet

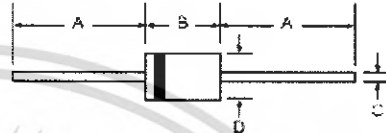
1N4001/L - 1N4007/L

1.0A RECTIFIER

SPICE MODELS: 1N4001 1N4002 1N4003 1N4004 1N4005 1N4006 1N4007

Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 4)



Mechanical Data

- Case: DO-41, A-405
- Case Material: Molded Plastic, UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020C
- Terminals: Finish - Bright Tin, Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Mounting Position: Any
- Ordering Information: See Last Page
- Marking: Type Number
- Weight: DO-41 0.30 grams (approximate)
A-405 0.20 grams (approximate)

Dim	DO-41 Plastic		A-405	
	Min	Max	Min	Max
A	25.40		25.40	
B	4.66	5.21	4.10	5.20
C	0.71	0.854	0.53	0.64
D	2.00	2.72	2.00	2.70

All Dimensions in mm

L* Suffix Designates A-405 Package

No Suffix Designates DO-41 Package

Maximum Ratings and Electrical Characteristics $\ominus T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N4001/L	1N4002/L	1N4003/L	1N4004/L	1N4005/L	1N4006/L	1N4007/L	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RPM} V_R	50	100	200	400	600	800	1000	V
RMS Reverse Voltage	V_{RRMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1)	I_o				1.0				A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 0.2ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I_{FSM}				30				A
Forward Voltage	V_{FM}				1.0				V
Peak Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage	I_{RM}				5.0 50				μA
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C_j	15			8				pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$				100				K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T_A				+150				$^\circ\text{C}$
Operating and Storage Temperature Range (Note 3)	T_j, T_{STG}				-65 to +175				$^\circ\text{C}$

- Notes: 1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 0.5mm from the case.
2. Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
3. JEDEC Value.
4. RoHS revision 13.2.2003. Glass and High Temperature Solder Exemptions applied, see EU Directive Annex Notes 5 and 7.

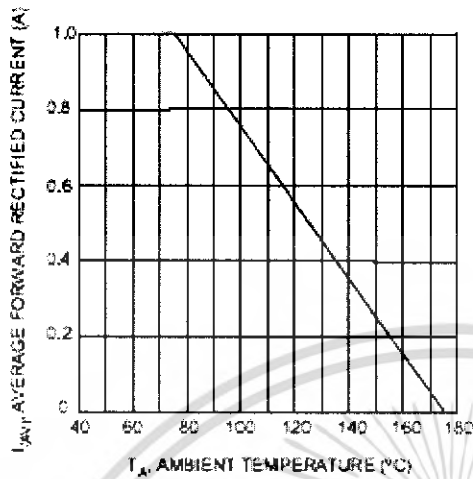


Fig. 1 Forward Current Derating Curve

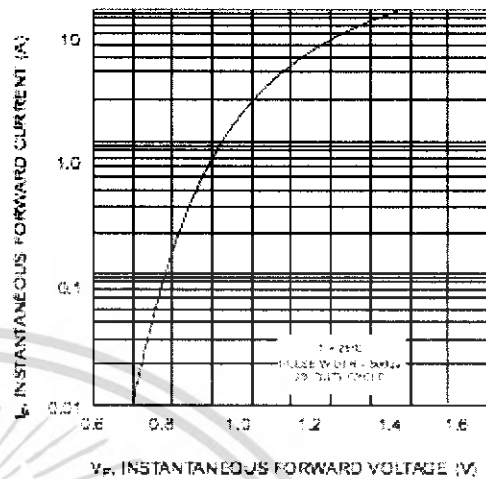


Fig. 2 Typical Forward Characteristics

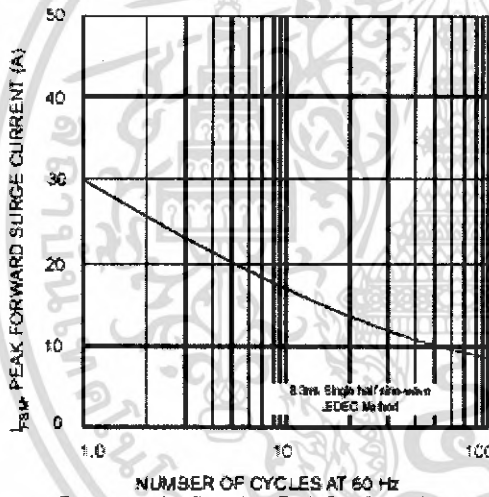


Fig. 3 Max Non-Repetitive Peak Fwd Surge Current

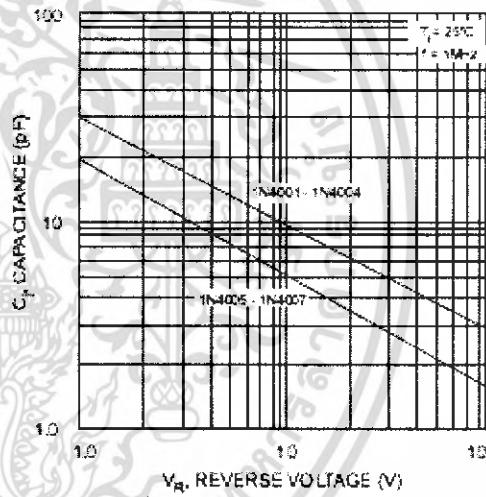


Fig. 4 Typical Junction Capacitance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Ordering Information (Note 5)

Device	Packaging	Shipping
1N4001-A	D0-41 Plastic	5K/Ammo Pack
1N4001-B	D0-41 Plastic	1K/Bulk
1N4001-T	D0-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4002-A	D0-41 Plastic	5K/Ammo Pack
1N4002-B	D0-41 Plastic	1K/Bulk
1N4002-T	D0-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4003-A	D0-41 Plastic	5K/Ammo Pack
1N4003-B	D0-41 Plastic	1K/Bulk
1N4003-T	D0-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4004-A	D0-41 Plastic	5K/Ammo Pack
1N4004-B	D0-41 Plastic	1K/Bulk
1N4004-T	D0-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4005-A	D0-41 Plastic	5K/Ammo Pack
1N4005-B	D0-41 Plastic	1K/Bulk
1N4005-T	D0-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4006-A	D0-41 Plastic	5K/Ammo Pack
1N4006-B	D0-41 Plastic	1K/Bulk
1N4006-T	D0-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4007-A	D0-41 Plastic	5K/Ammo Pack
1N4007-B	D0-41 Plastic	1K/Bulk
1N4007-T	D0-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4001L-T	A-406	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4002L-T	A-406	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4003L-T	A-406	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4004L-T	A-406	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4005L-T	A-406	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4006L-T	A-406	5K/Tape & Reel, 134inch
1N4007L-T	A-406	5K/Tape & Reel, 134inch

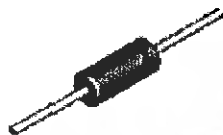
Notes: 5. For packaging details, visit our website at <http://www.diodes.com/datasheets/sp02006.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR

Discrete POWER & Signal
Technologies

1N/FDLL 914/A/B / 916/A/B / 4148 / 4448



DO-35



LL-34

THE PLACEMENT OF THE EXPANSION GAP HAS NO RELATIONSHIP TO THE LOCATION OF THE CATHODE TERMINAL.

DEVICE	1ST BAND	2ND BAND
FDL914	BLACK	BROWN
FDL914A	BLACK	GRAY
FDL914B	BROWN	BLACK
FDL916	BLACK	RED
FDL916A	BLACK	WHITE
FDL916B	BROWN	BROWN
FDL4148	BLACK	BROWN
FDL4448	BROWN	BLACK

High Conductance Fast Diode

Sourced from Process D3

Absolute Maximum Ratings*

*TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{R}	Working Inverse Voltage	75	V
I_{o}	Average Rectified Current	300	mA
I_{F}	DC Forward Current	300	mA
I_{R}	Recurrent Peak Forward Current	300	mA
I_{FSM}	Peak Forward Surge Current Pulse width = 1.0 second Pulse width = 1.0 microsecond	1 A 4 A	A
T_{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +200	°C
T_{j}	Operating Junction Temperature	175	°C

* These ratings are limiting values above which the reliability of any semiconductor device may be impaired.

NOTES

- These ratings are based on a maximum junction temperature of 175 degrees C.
- These are steady state limits. The Rating should be checked on applications involving pulsed or duty cycle operations.

Thermal Characteristics

*TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max	Units
		1N/FDLL 914/A/B / 4148 / 4448	
P_D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	500 3.33	mW mW/°C
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	300	°C/W

©1987 Fairchild Semiconductor Corporation

1N/FDLL 914/A/B / 916/A/B / 4148 / 4448

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High Conductance Fast Diode
(continued)

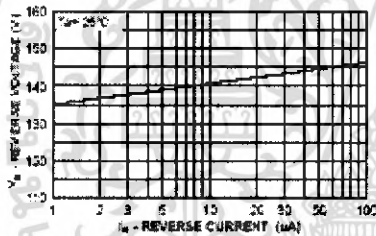
Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

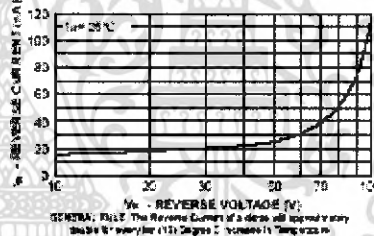
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
B_V	Breakdown Voltage	$I_A = 100 \mu\text{A}$ $I_A = 5.0 \mu\text{A}$	120 75		V V
I_R	Reverse Current	$V_R = 20 \text{ V}$ $V_R = 20 \text{ V}, T_A = 150^\circ\text{C}$ $V_R = 75 \text{ V}$		25 50 5.0	nA μA μA
V_F	Forward Voltage	1N914B / 4448 1N916B 1N914 / 916 / 4148 1N914A / 916A 1N916B 1N914B / 4448	520 520	720 730 1.0 1.0 1.0 1.0	mV mV V V V V
C_C	Diode Capacitance	1N916A/B / 4448 1N914A/B / 4148		2.0 4.0	pF pF
T_{RR}	Reverse Recovery Time	$I_F = 10 \text{ mA}, V_R = 5.0 \text{ V}, 60 \text{ mA}$ $I_F = 1.0 \text{ mA}, R_L = 120 \Omega$		4.0	ns

Typical Characteristics

REVERSE VOLTAGE vs REVERSE CURRENT
BV - 1.0 to 100 μA

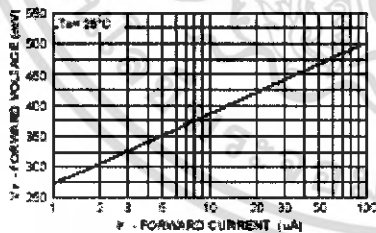


REVERSE CURRENT vs REVERSE VOLTAGE
IR - 10 to 100 V

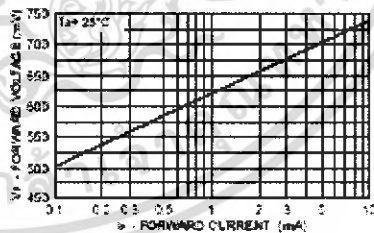


NOTE: The Reverse Current of a diode will approximately double for every 10 Degree C increase in Temperature.

FORWARD VOLTAGE vs FORWARD CURRENT
VF - 1 to 100 μA



FORWARD VOLTAGE vs FORWARD CURRENT
VF - 0.1 to 100 mA



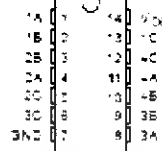
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN74HC4066
QUADRUPLE BILATERAL ANALOG SWITCH

010,00000 - MARCH 1986 - REVISED SEPTEMBER 2002

- High Degree of Linearity
- High On-Off Output Voltage Ratio
- Low Crosstalk Between Switches
- Low On-State Impedance . . . 50-Ω TYP at $V_{CC} = 6\text{ V}$
- Individual Switch Controls
- Extremely Low Input Current

D, DB, N, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



Description

The SN74HC4066 is a silicon-gate CMOS quadruple analog switch designed to handle both analog and digital signals. Each switch permits signals with amplitudes of up to 6 V (peak) to be transmitted in either direction.

Each switch section has its own enable input control (C). A high-level voltage applied to C turns on the associated switch section.

Applications include signal gating, chopping, modulation or demodulation (modems), and signal multiplexing for analog-to-digital and digital-to-analog conversion systems.

ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE*		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
-40°C to 85°C	PDF - N	Tube	SN74HC4066N	SN74HC4066N
		Tape and reel	SN74HC4066DR	HC4066
	SOIC - D	Tube	SN74HC4066D	HC4066
		Tape and reel	SN74HC4066DR	HC4066
	TSSOP - PW	Tape and reel	SN74HC4066PWR	HC4066

* Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbol outline, and PCB design guidelines are available at www.ti.com package.

FUNCTION TABLE
(each switch)

INPUT CONTROL (C)	SWITCH
L	OFF
H	ON



Please be aware that an important notice concerning availability, extended warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and derivatives thereon appears at the end of this data sheet.

PRODUCTS DATA information is current as of publication date. Product may be subject to change without notice. See www.ti.com for more information. Product may be subject to change without notice. See www.ti.com for more information.



Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

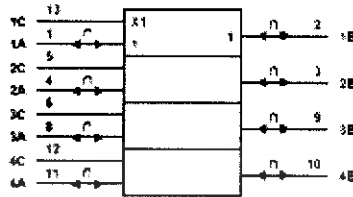
POST OFFICE BOX 655309 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN74HC4066
QUADRUPLE BILATERAL ANALOG SWITCH

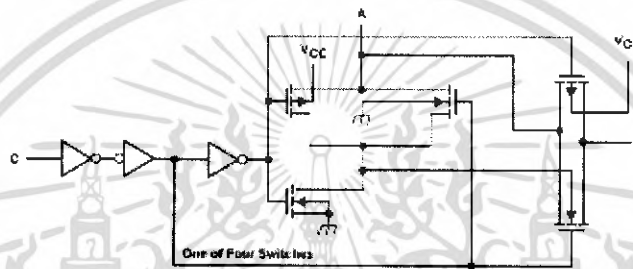
SCDS329C - MARCH 1984 - REVISED SEPTEMBER 2003

logic symbol†



† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 613-1-2.

logic diagram, each switch (positive logic)



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)‡

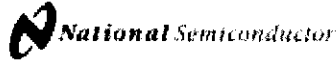
Supply voltage range, V_{CC} (see Note 1)	-0.5 V to 7 V
Control-input diode current, $I_{I(V)} (V_I < 0 \text{ or } V_I > V_{CC})$	$\pm 20 \text{ mA}$
I/O port diode current, $I_{I(V)} (V_I = 0 \text{ or } V_{IO} > V_{CC})$	$\pm 20 \text{ mA}$
On-state switch current ($V_{IC} = 0 \text{ to } V_{CC}$)	$\pm 25 \text{ mA}$
Continuous current through V_{CC} or GND	$\pm 50 \text{ mA}$
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package	85°C/W
DB package	95°C/W
N package	80°C/W
PW package	113°C/W
Storage temperature range, T_{STG}	-65°C to 150°C

‡ Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. All voltages are with respect to ground unless otherwise specified.
2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC J-17.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


March 2002

LM78LXX Series 3-Terminal Positive Regulators

General Description


The LM78LXX series of three terminal positive regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. When used as a series diode regulator replacement, the LM78LXX usually results in an effective output impedance improvement of two orders of magnitude, and lower quiescent current. These regulators can provide local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow the LM78LXX to be used in logic systems, instrumentation, H.F., and other solid state electronic equipment.

The LM78LXX is available in the plastic TO-92 (Z) package, the plastic SO-8 (M) package and a chip sized package (8-Bump micro SMD) using National's micro SMD package technology. With adequate heat sinking the regulator can deliver 100 mA output current. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the internal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Features

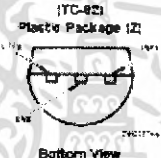
- LM78LXX in micro SMD package
- Output voltage tolerances of ±5% over the temperature range
- Output current of 100 mA
- Internal thermal overload protection
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in classic TO-92 and plastic SO-8 low profile packages
- No external components
- Output voltages of 5.7V, 6.2V, 6.7V, 8.2V, 9.0V, 10V, 15V
- See AN-112 for micro SMD considerations

Connection Diagrams




SO-8 Plastic (M)
Narrow Body

Top View



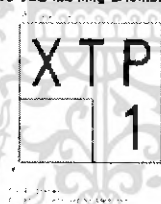
TO-92
Plastic Package (Z)

Bottom View



8-Bump micro SMD

Top View
(Bump Side Down)



micro SMD Marking Orientation

Top View

© 2002 National Semiconductor Corporation DS2007744

www.nsc.com

LM78LXX Series 3-Terminal Positive Regulators

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISCRETE SEMICONDUCTORS

DATA SHEET


BC546; BC547
 NPN general purpose transistors

 Product specification
 Supersedes data of 1997 Mar 04

1999 Apr 15

 Philips
 Semiconductors
**PHILIPS**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN general purpose transistors

BC546; BC547

FEATURES

- Low current (max. 100 mA);
- Low voltage (max. 65 V).

APPLICATIONS

- General purpose switching and amplification.

DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92, SOT54 plastic package
PNP complements: BC556 and BC557.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector

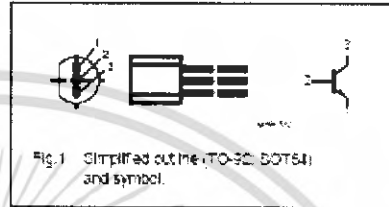


Fig. 1 Simplified outline (TO-92, SOT54) and symbol.

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CE0}	collector-base voltage	open emitter	-	80	V
	BC546		-	50	V
	BC547		-	50	V
V_{CE}	collector-emitter voltage	open base	-	65	V
	BC546		-	45	V
	BC547		-	45	V
V_{EB0}	emitter-base voltage	open collector	-	6	V
	BC546		-	6	V
	BC547		-	6	V
I_C	collector current (DC)		-	100	mA
I_{CM}	peak collector current		-	200	mA
I_B	peak base current		-	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$ note 1	-	300	mW
T_{stg}	storage temperature		-55	+150	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		-	150	$^\circ\text{C}$
T_{amb}	operating ambient temperature		-55	+150	$^\circ\text{C}$

Note

1 Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

On-line Semiconductor

Product specification

NPN general purpose transistors

BC546; BC547

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{\theta j-c}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	925	K/mW

Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed circuit board

CHARACTERISTICS

 $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	LIMIT
I_{c0}	collector cut-off current	$I_B = 0$, $V_{CE} = 30\text{ V}$	-	-	15	nA
		$I_B = 0$, $V_{CE} = 30\text{ V}$, $T_j = 150^\circ\text{C}$	-	-	5	μA
I_{B0}	base cut-off current	$I_C = 0$, $V_{BE} = 5\text{ V}$	-	-	100	nA
β_{DC}	DC current gain	$I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$ see Figs 2, 3 and 4	-	50	-	-
	BC546A		-	150	-	-
	BC546B, BC547B		-	150	-	-
	BC547C		-	270	-	-
	DC current gain	$I_C = 2\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$ see Figs 2, 3 and 4	110	180	220	-
	BC546A		200	290	450	-
	BC546B, BC547B		420	520	800	-
	BC547C		110	-	800	-
	BC547		110	-	450	-
	BC549		110	-	450	-
$V_{CE(sat)}$	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = 0.5\text{ mA}$	-	50	250	mV
		$I_C = 100\text{ mA}$, $I_B = 5\text{ mA}$	-	200	800	mV
$V_{BE(sat)}$	base-emitter saturation voltage	$I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = 2.5\text{ mA}$ note 1	-	700	-	mV
		$I_C = 100\text{ mA}$, $I_B = 5\text{ mA}$ note 1	-	1000	-	mV
V_{CE}	base-emitter voltage	$I_C = 2\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$ note 2	580	650	700	mV
		$I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$	-	-	770	mV
C_c	collector capacitance	$I_C = I_B = 0$, $V_{CE} = 10\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$	-	1.5	-	pF
C_{in}	input capacitance	$I_C = I_B = 0$, $V_{BE} = 0.5\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$	-	11	-	pF
f_T	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$, $f = 100\text{ MHz}$	100	-	-	MHz
F	noise figure	$I_C = 20\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$ $R_g = 200\ \Omega$, $f = 1\text{ kHz}$, $B = 300\text{ Hz}$	-	2	10	dB

Notes

1. $V_{CE(sat)}$ decreases by about 17 mV/A with increasing collector current.
2. $V_{BE(sat)}$ decreases by about 0.2 mV/A with increasing temperature.

1000 Apr 15

3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISCRETE SEMICONDUCTORS

DATA SHEET


BC556; BC557
 PNP general purpose transistors

 Product specification
 Supersedes data of 1997 Mar 27

1999 Apr 15

 Philips
 Semiconductors
**PHILIPS**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN general purpose transistors

BC546; BC547

FEATURES

- Low current (max. 100 mA);
- Low voltage (max. 65 V).

APPLICATIONS

- General purpose switching and amplifier.

DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92, SOT54 plastic package.
PNP complements: BC556 and BC557.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector

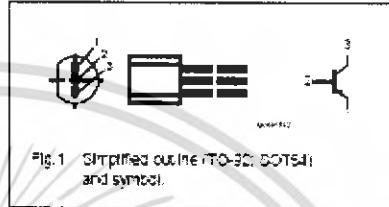


Fig. 1 Simplified outline (TO-92, SOT54) and symbol.

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC-34).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CE0}	collector-base voltage	open emitter	—	60	V
	BC546			50	V
	BC547				
V_{CEB}	collector-emitter voltage	open base	—	65	V
	BC546			45	V
	BC547				
V_{EB0}	emitter-base voltage	open collector	—	6	V
	BC546			6	V
	BC547				
I_C	collector current (DC)		—	100	mA
I_{CM}	peak collector current		—	200	mA
I_{BM}	peak base current		—	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$; note 1	—	500	mW
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$
T_j	junction temperature		—	150	$^\circ\text{C}$
T_{amb}	operating ambient temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$

Note

1 Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PNP general purpose transistors

BC556; BC557

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{\theta j-c}$	Thermal resistance from junction to ambient	note 1	250	K/W

Note

1 Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board

CHARACTERISTICS

 $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{cbo}	collector cut-off current	$V_{ce} = 0$, $V_{be} = -30$ V	-	-1	-15	μA
		$V_{ce} = 0$, $V_{be} = -30$ V, $T_j = 150^\circ\text{C}$	-	-	-4	μA
I_{ebo}	emitter cut-off current	$V_{ce} = 0$, $V_{be} = -5$ V	-	-	-100	μA
I_{dc}	DC current gain	$I_c = -2$ mA, $V_{ce} = -5$ V see Fig. 2.3 and 4	125	-	475	
	BC556		125	-	250	
	BC557		125	-	250	
	BC556A		200	-	475	
	BC556B; BC557B		200	-	475	
	BC557C		420	-	250	
$V_{ce(sat)}$	collector-emitter saturation voltage	$I_c = -10$ mA, $I_e = -0.5$ mA	-	-0.9	-0.9	V
		$I_c = -100$ μA , $I_e = -5$ μA	-	-1.0	-0.9	V
$V_{be(sat)}$	base-emitter saturation voltage	$I_c = -10$ mA, $I_e = -0.5$ mA, note 1	-	-0.7	-	V
		$I_c = -100$ μA , $I_e = -5$ μA , note 1	-	-0.8	-	V
V_{bc}	base-collector voltage	$I_c = -2$ mA, $V_{ce} = -5$ V, note 2	-0.4	-0.6	-0.5	V
		$I_c = -10$ mA, $V_{ce} = -5$ V, note 2	-	-	-0.5	V
C_c	collector capacitance	$I_c = I_e = 0$, $V_{ce} = -10$ V, $f = 1$ MHz	3	-	-	pF
C_e	emitter capacitance	$I_c = I_e = 0$, $V_{be} = -10$ V, $f = 1$ MHz	10	-	-	pF
f_T	transition frequency	$I_c = -2$ mA, $V_{ce} = -5$ V, $f = 100$ MHz	100	-	-	MHz
F	noise figure	$I_c = -100$ μA , $V_{ce} = -5$ V, $R_S = 2$ k Ω , $f = 1$ MHz, $B = 200$ Hz	2	3	3	dB

Notes

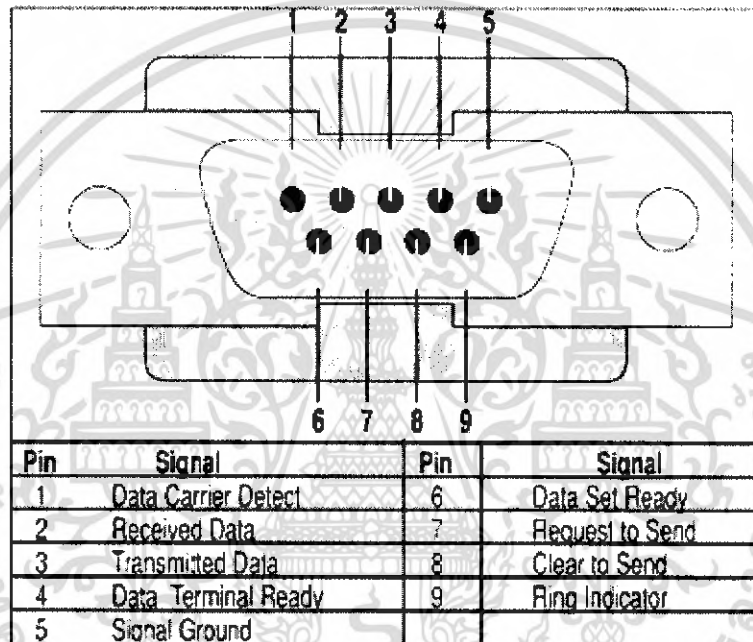
- $V_{ce(sat)}$ decreases by about -1.7 mV/K with increasing temperature
- V_{bc} decreases by about -0.2 mV/K with increasing temperature

1990 Apr 15

9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PC Com Port - EIA-574 RS-232/V.24 pin
out on a DB-9 pin used for asynchronous data**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้